

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP2005/014806

International filing date: 05 August 2005 (05.08.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-231193
Filing date: 06 August 2004 (06.08.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 09 September 2005 (09.09.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in
compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日本特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2004年 8月 6日

出願番号
Application Number: 特願 2004-231193

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
番号

The country code and number
of your priority application,
to be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

出願人
Applicant(s): 株式会社東芝

J P 2004-231193

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

2005年 8月 24日

小川



【書類名】 特許願
【整理番号】 A000403079
【提出日】 平成16年 8月 6日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 G06T 01/00
G06T 15/00

【発明者】
【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝マイクロエレクトロニクスセンター内
【氏名】 近藤 伸宏
【特許出願人】
【識別番号】 000003078
【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】
【識別番号】 100058479
【弁理士】
【氏名又は名称】 鈴江 武彦
【電話番号】 03-3502-3181

【選任した代理人】
【識別番号】 100091351
【弁理士】
【氏名又は名称】 河野 哲

【選任した代理人】
【識別番号】 100088683
【弁理士】
【氏名又は名称】 中村 誠

【選任した代理人】
【識別番号】 100108855
【弁理士】
【氏名又は名称】 蔵田 昌俊

【選任した代理人】
【識別番号】 100075672
【弁理士】
【氏名又は名称】 峰 隆司

【選任した代理人】
【識別番号】 100109830
【弁理士】
【氏名又は名称】 福原 淑弘

【選任した代理人】
【識別番号】 100084618
【弁理士】
【氏名又は名称】 村松 貞男

【選任した代理人】
【識別番号】 100092196
【弁理士】
【氏名又は名称】 橋本 良郎

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 011567
【納付金額】 16,000円

【提出物件の目録】

【物件名】	特許請求の範囲	1
【物件名】	明細書	1
【物件名】	図面	1
【物件名】	要約書	1

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

コンピュータを用いた画像処理方法であって、
三角形ポリゴンの頂点座標を抽出するステップと、
前記頂点座標に基づいて、前記三角形ポリゴンを取り囲む領域を設定するステップと、
前記領域内に含まれる格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離を計測するステップと

前記格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離に基づいて図形を描画するステップと
を行うことを特徴とする画像処理方法。

【請求項 2】

前記図形は、前記ポリゴンまでの距離がゼロとなる点の集合として描画されることを特徴とする請求項 1 記載の画像処理方法。

【請求項 3】

図形を描画するためにコンピュータを、
三角形ポリゴンの頂点座標を抽出する座標抽出手段と、
前記座標抽出手段によって抽出された前記頂点座標に基づいて、前記三角形ポリゴンを取り囲む領域を形成する領域生成手段と、
前記領域生成手段によって形成された前記領域に含まれる格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離を計測する距離計測手段と、
前記距離計測手段によって計測された前記距離に基づいて図形を描画する図形描画手段と
して機能させることを特徴とする画像処理プログラム。

【請求項 4】

前記図形描画手段は、前記距離計測手段によって計測した前記ポリゴンまでの距離がゼロとなる点の集合として前記図形を描画することを特徴とする請求項 3 記載の画像処理プログラム。

【請求項 5】

ポリゴンデータが入力される入力手段と、
個々の前記ポリゴンを取り囲む領域を形成し、該領域内に含まれる格子点から前記ポリゴンまでの距離を計測し、該計測結果に基づいて陰関数表示による図形描画を行う演算手段と、
前記陰関数表示によって得られた前記図形を表示する出力手段と
を具備する画像処理コンピュータ。

【書類名】明細書

【発明の名称】画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータ

【技術分野】

【0001】

この発明は、画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータに関するもので、例えばポリゴン表現された物体を陰関数表現に変換する手法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、コンピュータグラフィックスやCADの分野において、物体の形状を表す手段として、陰関数表現、またはポリゴン等を用いたパラメトリック表現が用いられてきた。

【0003】

陰関数表現によって有機的な物体形状をモデリングする方法として、例えばメタボールなどの陰関数曲面を複数組み合わせる方法が提案されている（例えば非特許文献1参照）。また、粗く定義された点群データに曲面をフィッティングさせていくことで陰関数曲面を生成する手法が提案されている（例えば非特許文献2参照）。

【0004】

しかし、これらのような陰関数曲面を用いた手法では、複雑なキャラクターを詳細に表現することは難しかった。また、詳細な形状を表現する曲面データを生成しようとする、多大な計算コストが必要となるという問題があった。

【0005】

近年になって、符号付距離関数を用いて陰関数曲面を生成する、レベルセット法と呼ばれる手法が提案されている（例えば非特許文献3、4参照）。符号付距離関数を用いる利点は、形状情報を精度良く表せるという点にある。従って、流体アニメーションを作成する際などに、流体の表面形状の変形を精度良く扱う表現方法として利用されている。

【0006】

しかしながら、上記従来の提案には、陰関数表現されたある特定の単純な形状の物体について、その物体の形状の変化を如何にしてより精密に表現出来るかという点について開示が為されているに過ぎなかった。そして、どのような手法によって物体を陰関数で表現するのかという具体的な手法についての開示は無く、また単純な形状の物体だけでなく、複雑な形状の物体などにも汎用的に陰関数を適用する手法については提案がなされてこなかった。

【非特許文献1】T.Nishita and E.Nakamae著、“A Method for Displaying Metaballs by using Bezie Clipping.”、Proceeding of EUROGRAPHICS、1994年

【非特許文献2】G.Turk and JF.O'Brien著、“Shape transformation using variational implicit surface.”、Proceeding of SIGGRAPH、1999年

【非特許文献3】S.Osher and R.Fedkiw著、“Level Set Methods: An Overview and Some Recent Results”、Journal of Computer Physics、Vol.169、2001年

【非特許文献4】D.Enright, S.Marschner and R.Fedkiw著、“Animation and Rendering of Complex Water Surface”、Proceeding of SIGGRAPH、2002年

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

この発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、その目的は、ポリゴンを用いて表現された様々な形状の物体に対して陰関数表現を適用出来る画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

この発明の一態様に係る画像処理方法は、コンピュータを用いた画像処理方法であって、三角形ポリゴンの頂点座標を抽出するステップと、前記頂点座標に基づいて、前記三角形ポリゴンを取り囲む領域を設定するステップと、前記領域内に含まれる格子点から前記

三角形ポリゴンまでの距離を計測するステップと、前記格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離に基づいて図形を描画するステップとを行う。

【0009】

またこの発明の一態様に係る画像処理プログラムは、図形を描画するためにコンピュータを、三角形ポリゴンの頂点座標を抽出する座標抽出手段と、前記座標抽出手段によって抽出された前記頂点座標に基づいて、前記三角形ポリゴンを取り囲む領域を形成する領域生成手段と、前記領域生成手段によって形成された前記領域に含まれる格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離を計測する距離計測手段と、前記距離計測手段によって計測された前記距離に基づいて図形を描画する図形描画手段として機能させる。

【0010】

更にこの発明の一態様に係る画像処理コンピュータは、ポリゴンデータが入力される入力手段と、個々の前記ポリゴンを取り囲む領域を形成し、該領域内に含まれる格子点から前記ポリゴンまでの距離を計測し、該計測結果に基づいて陰関数表示による図形描画を行う演算手段と、前記陰関数表示によって得られた前記図形を表示する出力手段とを具備する。

【発明の効果】

【0011】

この発明によれば、ポリゴンを用いて表現された物体を、効率的に陰関数表現に変換する画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータを提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

以下、この発明の実施形態を図面を参照して説明する。この説明に際し、全図にわたり、共通する部分には共通する参照符号を付す。なお、以下に述べる実施形態において、例えば($r \rightarrow$)等で使用される矢印記号はベクトルを表すものと規定し、記号論理で用いられる「導出」や、集合論で用いられる「像」を意味するものではない。

【0013】

この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータについて、図1を用いて説明する。図1は、本実施形態に係る画像処理コンピュータの内部構成を示すブロック図である。

【0014】

図示するように、本実施形態に係る画像処理コンピュータ10は、CPU11、メインメモリ12、メモリ13、入力装置14、出力装置15、及びデータバス16を備えている。

【0015】

CPU11は、画像処理時において、メモリ13から画像処理プログラム17をメインメモリ12に読み出す。そして、メインメモリ12に保持された画像処理プログラム17に従って画像処理を行う。メインメモリ12は、画像処理時において、上記画像処理プログラム17の他、CPU11において頻繁に使用されるデータ等を保持する。メモリ13は、読み書き可能な例えは不揮発性の半導体メモリである。そして、種々のプログラム及びデータを保持する。入力装置14は、外部からデータを取り込む。出力装置15は、CPU11で描画した画像を出力する、例えはディスプレイやプリンタ等である。データバス16は、画像処理コンピュータ10内における各ブロック間のデータの授受を行う。

【0016】

次に、上記構成の画像処理コンピュータ10の動作について説明する。画像処理コンピュータ10は、ポリゴン等によってパラメトリック表現された物体を陰関数表現に変換する。この様子を示しているのが図2である。図2は、ポリゴンによって表現された物体と、陰関数表現された物体の模式図である。図示するように、例えは球状物体が三角形ポリゴンで表現されていたとする。画像処理コンピュータ10は、当該球状物体を陰関数を用いて表現する。

【0017】

陰関数表現とは次のようなものである。すなわち、ある物体の表面 $S \subset \mathbb{R}^3$ が与えられたとき、この表面 S の陰関数表現とは、ある実数値 t と実数値関数 $\phi(r \rightarrow)$ で、

$$r \rightarrow \in S \Leftrightarrow \phi(r \rightarrow) = t$$

を満たすような組 $\{t, \phi(r \rightarrow)\}$ のことである。但し、 $r \rightarrow \in \mathbb{R}^3$ は3次元空間内において位置を表す。そして、一般性を失うことなく $t = 0$ として良く、通常、 $\phi(r \rightarrow) = 0$ として、物体の表面は定義される。本実施形態では、 $\phi(r \rightarrow)$ を関数の形ではなく、物体の表面位置の形で用いる。その際、物体の表面位置は符号付最短距離を用いて表される。符号付最短距離を用いた関数は、ある点 $r \rightarrow$ の表面 S 上の最近傍点までの距離に、最近傍点が表面の表側である場合には正の符号を、裏面にある場合には負の符号を付けた値を返す。符号付最短距離については、後により具体的に説明する。

【0018】

画像処理コンピュータ10によって、ポリゴン表現を陰関数表現に変換する具体的な方法について、図3を用いて説明する。図3は、本実施形態に係る画像処理コンピュータによって、ポリゴン表現を陰関数表現に変換する方法を示すフローチャートである。

【0019】

図3に示すように、まず図1における入力手段15を介して、ポリゴンを用いて表現された物体のデータが、例えば画像処理コンピュータ10のメモリ13に読み込まれる（ステップS10）。

【0020】

次にCPU11は、メモリ13から画像処理プログラム17をメインメモリ12に読み出す。なお、画像処理プログラム17は、メモリ13ではなく携帯用磁気記録媒体から読み出されるものであっても良いし、またはインターネットを介してウェブサイトからダウンロードしてくるものであっても良い。同時にCPU11は、メモリ13から、ステップS10で取り込んだ物体のデータをメインメモリ12に読み出す。そしてCPU11は、メインメモリ12に読み出した画像処理プログラム17に従って、ポリゴンで表現された物体の画像処理を行い、当該物体を陰関数表現に変換する。この一連の処理について以下説明する。

【0021】

まずCPU11は、メインメモリ12に読み出した物体のデータから、当該物体表面を形成するポリゴンが、全て三角形ポリゴン（triangular-shaped polygon）であるかどうかを確認する（ステップS11）。いずれかのポリゴンが、四角形以上の多角形ポリゴン（n角形ポリゴン； $n > 3$ ）を含む場合には、CPU11は、当該ポリゴンを三角形ポリゴンに分割する（ステップS12）。この様子を示しているのが図4である。図4では、球状物体の表面に四角形ポリゴンが存在している場合を示しており、CPU11は四角形ポリゴンを2つの三角形ポリゴンに分割する。勿論、五角形ポリゴンや六角形ポリゴンが含まれている場合にも同様の処理が行われ、それぞれの場合には、3つ及び4つの三角形ポリゴンに分解される。このステップS12の処理によって、物体表面を形成するポリゴンは全て三角形ポリゴンとなる。

【0022】

次にCPU11は、各々の三角形ポリゴンの頂点座標を抽出する（ステップS13）。この様子を示しているのが図5である。図示するように、ある原点Oから $r_1 \rightarrow$ 、 $r_2 \rightarrow$ 、 $r_3 \rightarrow$ で表される3つの頂点 P_1 、 P_2 、 P_3 を有する三角形ポリゴンTPがあったとする。するとCPU12は、3次元空間内における頂点 P_1 、 P_2 、 P_3 それぞれの座標 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 、 (x_3, y_3, z_3) を求める。この処理は、物体表面を表現する全ての三角形ポリゴンについて行われる。

【0023】

引き続きCPU11は、ステップS13で求めた頂点座標に基づいて、境界箱（bounding box）BBまたは境界球（bounding sphere）BSを生成する（ステップS14）。図6は境界箱BBの例を3次元的に示している。図示するように、境界箱BBは、1つの三角形ポリゴンTPを取り囲むような空間のことである。境界箱BBまたは境界球BSを生

成する際、CPU11は、一定間隔で配列された格子点を生成する。境界箱BBの場合には、格子点LPは三角形ポリゴンTPを取り囲む空間、すなわち直方体が観念され、少なくともこの直方体の角部に格子点が配置される。境界箱BBまたは境界球BSは、この格子点の集まりとして生成される。図7は、境界箱BBの例を、2次元的に示している。図示するように、三角形ポリゴンTPが位置する三次元空間内に、複数の格子点(lattice point) LPが格子状に配列される。なお図7は2次元的に空間を図示しているので、三角形ポリゴンは線分として見ることが出来る。

【0024】

なお図8に示すように、境界箱BBは、三角形ポリゴンTPのサイズよりも、数格子点分(ϵ)だけ大きいサイズで生成される。図9は境界球BSの場合について示しており、境界箱BBの場合と同様に、三角形ポリゴンTPの周囲を取り囲み且つ三角形ポリゴンTPよりも ϵ だけ大きいサイズで生成される。以下の説明では、境界箱BBの場合を例に挙げて説明するが、境界球BSの場合であっても全く同様である。

【0025】

次にCPU11は、境界箱BBに含まれる格子点LPから、当該境界箱BBに含まれる三角形ポリゴンTPまでの符号付最短距離を測定する(ステップS15)。符号付最短距離D($r \rightarrow$)の測定方法について、図10乃至図13を用いて説明する。図10は、三角形ポリゴンTPの面を含む平面を三次元的に示す模式図であり、三角形ポリゴンTPの面を含む平面をX-Y平面とし、X-Y平面の法線ベクトルをZ軸としている。また図11及び図13はX-Z平面、図12はX-Y平面について示している。図11及び図13において、X軸とZ軸との交点から、図面を記載した紙面に垂直な方向がY軸方向となる。図12では、X軸とY軸との交点から、図面を記載した紙面に垂直な方向がZ軸となる。

【0026】

まず、図10及び図11に示すように、任意の格子点A1またはA2が与えられたとき、その格子点を $r \rightarrow = (x, y, z)$ とする。 $r \rightarrow$ の原点を原点Oとする。また、三角形ポリゴンTP上に存在する、 $r \rightarrow$ の最近傍点を $r_n \rightarrow = (x_n, y_n, z_n)$ とする。そして、図10に示すように、三角形ポリゴンTPのいずれかの頂点を原点O'、とし、原点O'から三角形ポリゴンTPのいずれか一辺をX軸、三角形ポリゴンTPを含む平面内においてX軸に垂直な方向をY軸、三角形ポリゴンTPを含む平面の法線ベクトルをZ軸とする座表系に $r \rightarrow$ を変換し、 $r' \rightarrow = (x', y', z')$ とする。更に、 $r' \rightarrow$ のX-Y平面上への射影点を、 $r_0' \rightarrow = (x', y', 0)$ とする。そして、三角形ポリゴンTP内において、 $r_0' \rightarrow$ から最も近い格子点が $r_n \rightarrow$ となる。よって、図11から明らかなように、任意の格子点から、最近傍の格子点までの距離の絶対値は、 $|r \rightarrow - r_n \rightarrow|$ で与えられる。そして符号付最短距離D($r \rightarrow$)は、 $\text{sgn}(z') |r \rightarrow - r_n \rightarrow|$ で求めることが出来る。但し、 $\text{sgn}(z')$ は、XYZ座標系において、着目している格子点の z' が正の値であるか、または負の値であるかを示す関数である。

【0027】

以下、格子点A1及びA2の場合を例に挙げて、具体的に符号付最短距離D($r \rightarrow$)の測定方法を説明する。格子点A1の場合をCASE1、格子点A2の場合をCASE2として、まずCASE1から説明する。

【0028】

まず、格子点A1の位置 $r \rightarrow$ を、XYZ座標系に変換し、 $r' \rightarrow$ とする。そして、格子点A1をX-Y平面に射影する。この射影位置が $r_0' \rightarrow = (x', y', 0)$ である。すると、図10、図11に示されるように、CASE1では $r_0' \rightarrow$ は三角形ポリゴンTPの面内にあるので、 $r_0' \rightarrow = (x', y', 0) = r_n \rightarrow = (x_n, y_n, z_n)$ であり、格子点A1の位置 $r' \rightarrow$ と最近傍格子点B1の位置 $r_n \rightarrow$ とは、X座標及びY座標の位置において等しい。従って、格子点A1における符号付最短距離D($r \rightarrow$)は、 $\text{sgn}(z') |r \rightarrow - r_n \rightarrow| = +z'$ となる(図11参照)。

【0029】

次にCASE2について説明する。CASE1と同様に、格子点A2の位置 $r \rightarrow$ を、X

YZ座標系に変換し、 $r' \rightarrow$ とする。そして、格子点A2をX-Y平面に射影する。この射影位置が $r_0' \rightarrow = (x', y', 0)$ である。すると、図10、図11に示されるように、CASE 2では $r_0' \rightarrow$ は三角形ポリゴンTPの外にある。従って、格子点A2の最近傍点B2の位置 $r_n \rightarrow = (x_n, y_n, z_n)$ は、格子点A2の射影点 $r_0' \rightarrow = (x', y', 0)$ と異なる。そして最近傍点B2は、射影点 $r_0' \rightarrow$ から、三角形ポリゴンTPの一辺に対して垂直に下ろした位置にある(図10参照)。従って、格子点A1における符号付最短距離D($r \rightarrow$)は、 $\text{sgn}(z') |r \rightarrow - r_n \rightarrow| = + |r \rightarrow - r_n \rightarrow| (\neq z')$ となる(図11参照)。

【0030】

上記のように、CASE 1では最近傍格子点が三角形ポリゴンTPの面内に存在するのに対し、CASE 2とでは三角形ポリゴンTPの边上に存在する。この点につき、図12を用いて説明する。任意の格子点と、三角形ポリゴン上において当該格子点に最近接な格子点との関係を考慮すれば、X-Y平面は図示するような3つの領域AREA1、AREA2、AREA3に分けることが出来る。まず領域AREA1は、三角形ポリゴンTPの面内の領域である。領域AREA2は、三角形ポリゴンTPの頂点から、各辺に直角に交わる直線を引いた際に、平行な2本の直線によって挟まれた領域である。そして領域AREA3は、AREA1及びAREA2を除いた領域である。

【0031】

任意の格子点をX-Y平面に射影した際、その射影位置がAREA1内にあった場合、 $r_0' \rightarrow = r_n \rightarrow$ であり、 $r_n \rightarrow$ は三角形ポリゴンTPの面内に存在する。この場合が、上記CASE1に相当する。

【0032】

また、射影位置がAREA2内にあった場合、 $r_0' \rightarrow \neq r_n \rightarrow$ であり、 $r_n \rightarrow$ は三角形ポリゴンTPの边上に存在する。そして、X-Y平面内における $r_0' \rightarrow$ と $r_n \rightarrow$ とのずれの大きさは、 $(|r_n \rightarrow - r_0' \rightarrow|^2)^{1/2}$ である。この場合が、上記CASE2に相当する。

【0033】

更に、射影位置がAREA3内にあった場合、 $r_0' \rightarrow \neq r_n \rightarrow$ であり、 $r_n \rightarrow$ は三角形ポリゴンTPの頂点に存在する。そして、X-Y平面内における $r_0' \rightarrow$ と $r_n \rightarrow$ とのずれの大きさは、 $(|r_n \rightarrow - r_0' \rightarrow|^2)^{1/2}$ である。

【0034】

なお、図11及び図12の例では、格子点A1、A2のZ軸の値が正である場合について説明したが、図13は、格子点A1のZ軸の値が負である場合について示している。この場合には、 $\text{sgn}(z')$ がマイナスとなる。符号関数 $\text{sgn}(z')$ がプラスであるかマイナスであるかは、当該格子点が三角形ポリゴンTPの外側にあるか内側にあるかを示している。すなわち、 $\text{sgn}(z')$ がプラスである場合には、当該格子点A1は、三角形ポリゴンTPによって表現される物体表面の外部に存在し、 $\text{sgn}(z')$ がマイナスである場合には、当該格子点A1は、三角形ポリゴンTPによって表現される物体表面の内部に存在することになる。

【0035】

以上のようにしてステップS15の処理が行われる。このステップS15の処理は、当該境界箱BB内に含まれる全ての格子点LPについて繰り返し行われる(ステップS16、S17)。全ての格子点LPについてステップS15の処理が終了した時点で、当該境界箱BBについての符号付最短距離D($r \rightarrow$)が確定する(ステップS18)。

【0036】

上記のように、ステップS14～S18によって、1つの三角形ポリゴンTPについて符号付最短距離D($r \rightarrow$)が求められる。CPU11は、このステップS14～S18の処理を、全ての三角形ポリゴンに対して繰り返し行う(ステップS19、S20)。全ての三角形ポリゴンについて上記処理が終了すると、CPU11は、三角形ポリゴン毎に求められた符号付最短距離D($r \rightarrow$)に基づいて、対象物体を描画する(ステップS21)

【0037】

対象物体は、符号付最短距離 $D(r \rightarrow) = 0$ となる点の集合として描画される。ステップ S15 によって、各格子点から三角形ポリゴンまでの距離が求められている。従って、複数の格子点からの三角形ポリゴンまでの距離を重ね合わせることで、三角形ポリゴンの表面の位置が分かる。すなわち、符号付最短距離 $D(r \rightarrow) = 0$ を満たす点の集合こそが、陰関数 $\phi(r \rightarrow) = 0$ を満たし、対象物体の表面 S を表す陰関数の解となる。このように、本実施形態では、陰関数 $\phi(r \rightarrow)$ そのものを求めるのではなく、符号付最短距離 $D(r \rightarrow) = 0$ の集合を求めることによって、物体を実質的に陰関数 $\phi(r \rightarrow)$ に変換している。

【0038】

なお、前述の通り符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ はポリゴン毎に求められる。従って、符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ を単に重ね合わせるだけでは、隣接するポリゴン間の関係を維持できない場合が有り得る。この様子を示しているのが図14、図15である。図14、図15は、隣接する三角形ポリゴン TP1、TP2について、符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ を求める際の様子を示す模式図であり、図14は三次元、図15は2次元的に示している。

【0039】

図14、図15に示すように、2つの三角形ポリゴン TP1、TP2は、それぞれの頂点 P1、P2で接するものとする。ところが、図14に示すように、三角形ポリゴン TP1、TP2はそれぞれ別々の境界箱 BB1、BB2によって符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ が求められる。従って、図15に示すように、ポリゴン表現を陰関数表現に変換する際、頂点 P1、P2が一致しない恐れがある。この場合には図16に示すように、CPU11は頂点 P1、P2とが一致するように、物体表面の位置を調整する。なお図15、図16において斜線を付した領域は、符号関数 $sgn(z')$ が負である領域である。そして、2つのポリゴン TP1、TP2を一致させると、図16に示すように、2つのポリゴン TP1、TP2によって取り囲まれる領域内に、符号関数 $sgn(z')$ が負である領域が閉じこめられる。すなわち、例えは図2に示すような球状物体を考えた場合、球状物体の表面 S においては符号付距離関数 $D(r \rightarrow) = 0$ であり、球状物体内の領域には符号関数 $sgn(z')$ がマイナスである領域が閉じこめられ、球状物体の外側の領域は符号関数 $sgn(z')$ がプラスである領域となる。

【0040】

以上のようにして、ポリゴン表現された物体が、陰関数表現に変換され、CPU11は陰関数で表現された物体を出力装置15から出力する。図17及び図18は、本実施形態で説明した方法によって物体を陰関数で表現した例を示し、(90×90×90)個の境界箱によって陰関数への変換を行っている。図19及び図20は、図17及び図18に示す物体をポリゴン表現した場合の例について示しており、それぞれ頂点数が8754個、面が17504個で表現した場合を図示している。図17及び図18と図19及び図20とを比較して明らかなように、ポリゴン表現の場合よりも、本実施形態で説明した陰関数表現の場合の方が、物体表面が滑らかであり、より自然に表現出来ることが分かる。

【0041】

図21乃至図23は、図17及び図18の断面図であり、それぞれX-Y平面、X-Z平面、及びY-Z平面について示している。図中において、赤色で示される領域は符号関数 $sgn(z')$ がマイナスである領域、青色で示される領域はプラスである領域、緑色で示される領域はほぼゼロに近い領域を示している。図示するように、物体内部には符号関数 $sgn(z')$ がマイナスである領域が閉じこめられ、物体外部は符号関数 $sgn(z')$ がプラスである領域となっている。このように実際には、厚みのない表面に厚みを持たせることにより、物体表面付近で起きている現象を簡略化して扱うことも出来る。

【0042】

上記のように、本実施形態に係る画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータによれば、下記(1)、(2)の効果が得られる。

【0043】

(1) 汎用性の高い陰関数表現方法が得られる。

本実施形態に係る方法であると、まず個々の三角形ポリゴンTP毎に符号付距離関数D($r \rightarrow$)を求めてい。そして、 $D(r \rightarrow) = 0$ となる点の集合を用いて、物体を陰関数 $\phi(r \rightarrow)$ で表現している。従って、対象物体の形状にかかわらず、ポリゴン表現を陰関数表現に変換することが出来る。すなわち、如何に複雑な形状の物体であっても、確実且つ容易に陰関数表現を得ることが出来、汎用性の高い陰関数表現方法が提供される。

【0044】

また、陰関数表現を汎用的に用いることが出来るため、様々な分野において、ポリゴンを用いた場合に比べてよりリアリティのあるアニメーションの作成が可能となる。

【0045】

(2) 物体の衝突判定を簡略化出来る。

本実施形態に係る陰関数表現は符号付距離関数を用いている。よって、対象物体の内部は符号関数 $sgn(z')$ はマイナス、外部はプラスである。従って、2つの物体の衝突判定が非常に簡便となる。なぜなら、例えば物体Aに物体Bが衝突してきた場合、物体Bの表面は物体Aに接しているか、またはその一部が物体Aの内部に存在することになる。これは、物体Bの表面についての符号関数 $sgn(z')$ に着目することで容易に判断することが出来る。従って、より複雑な物体を含むレーシングゲームや格闘ゲーム等のコンピュータゲームを楽しむことが出来る。

【0046】

次に、この発明の第2の実施形態に係る画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータについて説明する。本実施形態は、上記第1の実施形態において、物体の輪郭部分を含む領域について、より細かく境界箱を設定するものである。

【0047】

図24は、ポリゴン表現された物体(object)OBについて境界箱BBを生成する様子を2次元的に示す模式図であり、図中で示されている正四角形が境界箱BBである。図示するように、本実施形態では場所に応じて境界箱のサイズを調整し、特に対象物体OBの輪郭部分で境界箱のサイズを小さくし、より多くの境界箱BBを生成する。

【0048】

次に、本実施形態における符号付最短距離D($r \rightarrow$)の求め方について、図25のフローチャートを用いて説明する。なお、本実施形態に係る画像処理コンピュータは第1の実施形態と同様の構成であるので説明は省略する。まず、第1の実施形態において説明したステップS11またはS12までの処理を行い、対象物体OBに含まれるポリゴンの全てを三角形ポリゴンに分解する。対象物体OBは、例えば図26に示すような形状であったとする。但し図26は対象物体OBを2次元的に示すものである。

【0049】

引き続きCPU11は、メインメモリ12に読み出した画像処理プログラム17に従って、格子設定回数kをリセットする(ステップS30)。格子設定回数kとは、如何に境界箱を細かく分割するかを示す数値であり、詳細は後述する。また、格子設定回数の上限値は予め決められており、CPU11はメインメモリ12に格子設定回数kとその上限値を記憶させる。

【0050】

次にCPU11は、図27に示すように、対象物体OBが含まれる領域を複数のメッシュM1～M25に区切る。個々のメッシュは、一辺の長さがLの直方体である。そして、メッシュ毎に境界箱BBを生成する(ステップS31)。境界箱BBに含まれる格子点は、第1の実施形態の通りであっても良いし、直方体の8つの頂点にのみ生成されるものであっても良い。なお、図27も物体OBを2次元的に示しており、対象物体OBが含まれる領域が直方体であるとすれば、図面を記載した紙面に対して垂直な方向に5列の直方体が並ぶこととなり、生成される境界箱BBは(25個×5列)=125個である。以下の説明も同様であるが、説明の簡略化のために2次元空間において見える25個のメッシュ

M1～M25についてのみ着目して説明する。

【0051】

次にCPU11は、メッシュM1～M25に対応する境界箱BBについて、順次、格子点から三角形ポリゴンまでの符号付最短距離D($r \rightarrow$)を求める(ステップS15～S17)。D($r \rightarrow$)の求め方は第1の実施形態で説明したとおりであるので、ここでは説明は省略する。

【0052】

ある境界箱BBについて全ての格子点における符号付最短距離D($r \rightarrow$)を求めた後(ステップS16)、CPU11は全ての格子点における符号関数 $\text{sgn}(z')$ がプラスであるか否かを判別する(ステップS32)。全ての符号関数 $\text{sgn}(z')$ がプラスであれば、当該境界箱BBにおける符号付最短距離D($r \rightarrow$)を確定させ、次の境界箱BBについて(ステップS39)、ステップS15～S17の処理を行う。ステップS32において、全ての符号関数 $\text{sgn}(z')$ がプラスではないと判定された場合には、CPU11は次に全ての符号関数 $\text{sgn}(z')$ がマイナスであるか否かを判別する(ステップS33)。全ての符号関数 $\text{sgn}(z')$ がマイナスであれば、当該境界箱BBにおける符号付最短距離D($r \rightarrow$)を確定させ、次の境界箱BBについて(ステップS39)、ステップS15～S17の処理を行う。図27の例であると、メッシュM1から順次処理を進めいくと、まずメッシュM6までが、上記処理で符号付最短距離D($r \rightarrow$)が確定する。

【0053】

ステップS33で全ての符号関数 $\text{sgn}(z')$ がマイナスではないと判定された場合、すなわち、当該境界箱BBには符号関数 $\text{sgn}(z')$ がプラスである格子点と符号関数 $\text{sgn}(z')$ がマイナスである格子点とが含まれる場合には、当該境界箱BBは対象物体の輪郭部分を含んでいる(ステップS34)。図27の例であると、まず最初にメッシュM7に対応する境界箱BBがこの場合に相当する。するとCPU11は、格子設定回数kと、メインメモリ12に記憶されているその上限値とを比較し(ステップS18)、上限値に達していれば、直近に求められた値を符号付最短距離D($r \rightarrow$)として確定させる(ステップS18)。上限値に達していない場合、CPU11は、当該境界箱BBに対応するメッシュを、一边がその $1/2$ となるような細かいメッシュに分解する(ステップS36)。この様子を示しているのが図28である。図28では、メッシュM7についてステップS36の処理を行った様子を示しており、メッシュM7は一边が $L/2$ のメッシュM7-10～M7-13に分割されている。そしてCPU11は、メッシュM7-10～M7-13に対応して境界箱BBを生成し(ステップS36)、格子設定回数kを+1とする。このように、格子設定回数kはメッシュを再分割する回数を表すものであり、その上限値によって、如何にメッシュを細かく設定するかが決定される。ここでは上限値が3である場合を例に挙げて説明する。

【0054】

CPU11は、メッシュM7を分割したメッシュM7-10～M7-13に対応する境界箱BBについて、ステップS15～ステップS35を繰り返す。すると図28に示すように、メッシュM7内のうちメッシュM7-13にのみ物体OBの輪郭が含まれる。従って、メッシュM7-10～M7-12に対応する境界箱BB内の格子点の符号関数 $\text{sgn}(z')$ は全てプラスである(ステップS32)、これらの境界箱BBについては符号付最短距離D($r \rightarrow$)が確定する(ステップS18)。他方、メッシュM7-13に対応する境界箱BB内には、符号関数 $\text{sgn}(z')$ がプラスの格子点とマイナスの格子点とが混在する(ステップS32、S33)、CPU11はメッシュM7-13を、一边が $L/4$ のメッシュM7-20～M7-23に再分割し、これらのメッシュに対応した境界箱BBを生成する(ステップS36)。この様子を示しているのが図29である。また格子設定回数はk=2となる(ステップS37)。

【0055】

そしてCPU11は、メッシュM7-13を再分割したメッシュM7-20～M7-23に対応する境界箱BBについて、ステップS15～S35を繰り返す。すると図30に

示すように、メッシュM7-13内のうちメッシュM7-23にのみ物体OBの輪郭が含まれる。従って、メッシュM7-20～M7-22に対応する境界箱BB内の格子点の符号関数 $\text{sgn}(z')$ は全てプラスである（ステップS32）、これらの境界箱BBについては符号付最短距離D($r \rightarrow$)が確定する（ステップS18）。他方、メッシュM7-23に対応する境界箱BB内には、符号関数 $\text{sgn}(z')$ がプラスの格子点とマイナスの格子点とが混在する（ステップS32、S33）、CPU11はメッシュM7-23を、一辺がL/8のメッシュM7-30～M7-33に再分割し、これらのメッシュに対応した境界箱BBを生成する（ステップS36）。この様子を示しているのが図30である。また格子設定回数はk=3となる（ステップS37）。

【0056】

引き続きCPU11は、メッシュM7-13を再分割したメッシュM7-20～M7-23に対応する境界箱BBについて、ステップS15～S35を繰り返す。すると図30に示すように、メッシュM7-13内のうちメッシュM7-23にのみ物体OBの輪郭が含まれる。従って、メッシュM7-30～M7-32に対応する境界箱BB内の格子点の符号関数 $\text{sgn}(z')$ は全てプラスである（ステップS32）、これらの境界箱BBについては符号付最短距離D($r \rightarrow$)が確定する（ステップS18）。他方、メッシュM7-23に対応する境界箱BB内には、符号関数 $\text{sgn}(z')$ がプラスの格子点とマイナスの格子点とが混在する（ステップS32、S33）。しかし、格子設定回数kの値が上限値のk=3に達しているので（ステップS35）、CPU11はメッシュM7-23に対応する境界箱BBについても符号付最短距離D($r \rightarrow$)を確定させる（ステップS18）。

【0057】

以上によって、メッシュM7についての処理が終了し、次にCPU11はメッシュM8に対応する境界箱BBについてステップS15～S37の処理を行う（ステップS38、S39）。メッシュM8内にも物体OBの輪郭が含まれているので、CPU11はメッシュM7の場合と同様、所定のメッシュについて、格子設定回数kが上限値に達するまで再分割を繰り返して、符号付最短距離D($r \rightarrow$)を確定させる。この様子を示しているのが図31である。

【0058】

以下、メッシュM9からM25まで同様の処理を繰り返す。図27に示すように、メッシュM10、M11、M15、M16、M20、M21、M25に対応する境界箱BB内の格子点の符号関数 $\text{sgn}(z')$ は全てプラスである（ステップS32）、メッシュを再分割することなく符号付最短距離D($r \rightarrow$)が確定する。すなわち、これらは対象物体OBの外部にある領域だからである。またメッシュM13、M18に対応する境界箱BBの格子点の符号関数 $\text{sgn}(z')$ は全てマイナスである（ステップS33）、やはりメッシュを再分割することなく符号付最短距離D($r \rightarrow$)が確定する。逆にこれらは対象物体OBの内部にある領域だからである。メッシュM9、M12、M14、M17、M19、M22～M24に対応する境界箱BBは、物体OBの輪郭を含む。従って、上記メッシュM7、M8と同様に、メッシュの再分割を繰り返すことによって符号付最短距離D($r \rightarrow$)が確定する。

【0059】

以上のようにして、全ての境界箱BBについて符号付最短距離D($r \rightarrow$)が求まった後（ステップS38）、第1の実施形態で説明したステップS21の処理を行い、陰関数表現によって対象物体OBを描画する。

【0060】

上記のように、本実施形態に係る画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータであると、第1の実施形態で説明した（1）、（2）の効果に加えて、下記（3）の効果を併せて得ることが出来る。

【0061】

（3）計算量を削減しつつ、物体をより精度良く表現することが出来る。

本実施形態によれば、位置に応じて境界箱のサイズを変化させている。すなわち、符号関数 $\text{sgn}(z')$ に基づいて、当該境界箱が物体の輪郭を含むか否かを判別する。そして、物体の輪郭部分を含む領域については、複数の小さい境界箱を用いて多数の格子点から符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ を求めている。逆に、輪郭部分を含まない領域については、大きな境界箱を用いて少ない格子点から符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ を求めている。対象物体を陰関数表現によって描画するには、その表面の位置が認識できれば十分であるので、輪郭部分を含まない領域について格子点の数を少なくしても、物体表面の精度には悪影響を与えない。

【0062】

このように、輪郭部分を含まない領域において格子点を大幅に削減することによって、CPU11による計算量を削減することが出来る。同時に、輪郭部分を含む領域については格子点を増加させることにより、対象物体をより精密に表現することが可能となる。

【0063】

次に、この発明の第3の実施形態に係る画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータについて、図32を用いて説明する。本実施形態は、上記第1、第2の実施形態において、1つの境界箱に複数の三角形ポリゴンが含まれている場合に関するものである。図32は、本実施形態に係る画像処理方法のフローチャートの一部である。

【0064】

図示するように、まず第1、第2の実施形態で説明した方法により、ステップS15までの処理を行い、いずれかの格子点から三角形ポリゴンまでの符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ を求める。次に、当該境界箱BB内に複数の三角形ポリゴンTPが含まれるか否かを判定する（ステップS40）。図33は、1つの境界箱BB内に6個の三角形ポリゴンTP1～TP6が含まれる例を示している。

【0065】

境界箱BB内に三角形ポリゴンTPが1つしか含まれない場合には、ステップS16に進む。すなわちCPU11は第1の実施形態と同様の処理を行う。他方、図33のように複数の三角形ポリゴンTP1～TP6が含まれている場合には、CPU11は当該格子点における符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ が、現在着目している三角形ポリゴン（例えばTP1）と別の三角形ポリゴン（TP2～TP6）によって既に求められているかどうかを確認する（ステップS41）。未だ、他の三角形ポリゴンTP2～TP6によって符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ が求められていない場合には、ステップS16に進み、次の格子点について処理を行う。

【0066】

当該格子点における符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ が既に他の三角形ポリゴンTP2～P6によって求められている場合（この値を従前の値と呼ぶことにする）、CPU11は、当該三角形ポリゴンTP1で求めた最新の符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ （この値を最新の値と呼ぶことにする）と従前の値とを比較する（ステップS42）。最新の値が従前の値よりも小さい場合には、CPU11は従前の値を破棄して、当該格子点における符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ を、最新の値に更新して、ステップS16に進む。

【0067】

最新の値が従前の値より小さくない場合には（ステップS42）、CPU11は次に最新の値が従前の値と等しいか否かを判定する（ステップS43）。等しくない場合、すなわち、最新の値が従前の値よりも大きい場合には、符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ を更新することなく、ステップS16に進む。この場合、最新の値は破棄される。ステップS43において、最新の値と従前の値とが等しい場合、次にCPU11は、X-Y平面における射影点のずれを確認する（ステップS44）。

【0068】

ステップS44について、図33に示す境界箱BBにおいて三角形ポリゴンTP2の $D(r \rightarrow)$ を求める際に、既に三角形ポリゴンTP1の $D(r \rightarrow)$ が既知である場合を例にして説明する。当該格子点における符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ がTP1、TP2間で等し

い場合、それぞれの場合について、X-Y座標への射影点と最近傍格子点とのずれを比較する。図34に示すように、既に符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ が既知である三角形ポリゴンTP1について、現在着目している格子点LPからX-Y座標への射影点ベクトルを $r_{01} \rightarrow$ とし、最近傍点ベクトルを $r_{n1} \rightarrow$ とする。すると、 $|r_{01} \rightarrow - r_{n1} \rightarrow|^2$ とのずれ、すなわち両者の間隔 d_1 は、 $(|r_{n1} \rightarrow - r_{01} \rightarrow|^2)^{1/2}$ である。

【0069】

また、図35に示すように、現在着目している三角形ポリゴンTP2について、格子点LPからX-Y座標への射影点ベクトルを $r_{02} \rightarrow$ とし、最近傍点ベクトルを $r_{n2} \rightarrow$ とする。すると、 $|r_{02} \rightarrow - r_{n2} \rightarrow|^2$ とのずれ、すなわち両者の間隔 d_2 は、 $(|r_{n2} \rightarrow - r_{02} \rightarrow|^2)^{1/2}$ である。

【0070】

そして、 $d_2 < d_1$ であったとする。すなわち、現在着目している三角形ポリゴンTP2の方が、 $D(r \rightarrow)$ が既知である三角形ポリゴンTP2よりも、そのX-Y座標におけるずれが小さかったとする。この場合、CPU1-1は当該格子点における符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ を、三角形ポリゴンTP2によって求めた最新の値に更新して（ステップS45）、ステップS16の処理に進む。逆に、 $d_2 > d_1$ であった場合には、最新の値を破棄し、符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ の更新は行わずにステップS16の処理に進む。

【0071】

本実施形態によれば、第1、第2の実施形態で説明した（1）乃至（3）の効果に加えて、下記（4）の効果を併せて得ることが出来る。

【0072】

（4）物体を更に精度良く表現することが出来る。

本実施形態に係る方法であると、ある境界箱において、物体表面の位置が複数のポリゴンで求められている場合、その表面を示す符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ が小さい方を用いて陰関数表現を行っている。また複数のポリゴン間で符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ が等しい場合には、X-Y平面内における射影点から三角形ポリゴンまでのずれの小さい方の符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ を用いている。従って、物体表面をより精度良く表現することが出来る。

【0073】

なお、本実施形態は、特に第2の実施形態に関連して効果が得られるものである。第1の実施形態では、個々のポリゴン毎に境界箱を生成されるが、第2の実施形態では所定の領域ごとに境界箱を生成する場合に関連するため、1つの境界箱に複数のポリゴンが含まれる可能性が非常に高いためである。

【0074】

次に、この発明の第4の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムについて説明する。本実施形態は、上記第1乃至第3の実施形態で説明した画像処理を、ソフトウェア処理ではなく画像処理用LSIで実現するものである。図36は、本実施形態に係るシステムLSIのブロック図である。

【0075】

図示するように、本実施形態に係る画像描画プロセッサシステムLSI18は、ホストプロセッサ20、I/Oプロセッサ30、メインメモリ40、及びグラフィックプロセッサ50を備えている。ホストプロセッサ20とグラフィックプロセッサ50とは、プロセッサバスBUSによって、相互に通信可能に接続されている。

【0076】

ホストプロセッサ20は、メインプロセッサ21、I/O部22~24、及び複数の信号処理部（DSP：Digital Signal Processor）25を備えている。これらの回路ブロックは、ローカルネットワークLN1によって相互に通信可能に接続されている。メインプロセッサ21は、ホストプロセッサ20内の各回路ブロックの動作を制御する。I/O部22は、I/Oプロセッサ30を介してホストプロセッサ20外部とデータの授受を行う。I/O部23は、メインメモリ40との間でデータの授受を行う。I/O部24は、ブ

ロセッサバスBUSを介してグラフィックプロセッサ50との間でデータの授受を行う。信号処理部25は、メインメモリ40や外部から読み込んだデータに基づいて信号処理を行う。

【0077】

I/Oプロセッサ30は、ホストプロセッサ20と、例えば汎用バス、HDDやDVD(Digital Versatile Disc)ドライブ等の周辺機器並びにネットワークとを接続する。この際、HDDやDVDドライブは、LSI18に搭載されているものでも良いし、またはLSI18外部に設けられていても良い。

【0078】

メインメモリ40は、ホストプロセッサ20が動作するために必要なプログラムを保持する。このプログラムは、例えば図示せぬHDD等から読み出されて、メインメモリ40に格納される。

【0079】

グラフィックプロセッサ50は、コントローラ51、I/O部52、53、演算処理部54を備えている。コントローラ51は、ホストプロセッサ20との間の通信や、演算処理部54の制御を行う。I/O部52は、プロセッサバスBUSを介したホストプロセッサ20との間の入出力を司る。I/O部53は、PCI等の各種汎用バス、ビデオ及びオーディオ、更に外部メモリ等との入出力を司る。演算処理部54は、画像処理演算を行う。

【0080】

演算処理部54は、ラスタライザ(rasterizer)55、及び複数の信号処理部56-0～56-31を備えている。なお、本実施形態では信号処理部56の数を32個にしているが、これは一例に過ぎず、8個、16個、64個等でも良く、その数は限定されるものではない。演算処理部54の詳細な構成について、図2を用いて説明する。図2はグラフィックプロセッサ50のブロック図である。

【0081】

図示するように、演算処理部54は、ラスタライザ55と、32個の信号処理部56-0～56-31を備えている。ラスタライザ55は、入力された図形情報に従って、ピクセル(pixel)を生成する。ピクセルとは、所定の図形を描画する際に取り扱われる最小単位の領域のことであり、ピクセルの集合によって図形が描画される。生成されるピクセルは、図形の形状(図形の占める位置)によって決まっている。すなわち、ある位置を描画する際にはその位置に対応したピクセルが生成され、また別の位置を描画する際には、対応する別のピクセルが生成される。信号処理部56-0～56-31はそれぞれ、ピクセル処理部PPU0～PPU31、及びピクセル処理部毎に設けられたローカルメモリLM0～LM31を含んでいる。

【0082】

ピクセル処理部PPU0～PPU31はそれぞれ、4個のリアルアイズパイプRP(realize pipe)を有しており、4個のリアルアイズパイプRPが1個のRPクラスタRPC(realize pipe cluster)を形成している。RPクラスタRPCのそれぞれは、SIMD(single Instruction Multiple Data)動作を行って、4個のピクセルを同時に処理する。そして、図形のそれぞれの位置に対応するピクセルは各ピクセル処理部PPU0～PPU31に割り当てられており、図形の占める位置に応じて、対応するピクセル処理部PPU0～PPU31がピクセルを処理する。

【0083】

ローカルメモリLM0～LM31はそれぞれ、ピクセル処理部PPU0～PPU31によって生成されたピクセルデータを記憶する。ローカルメモリLM0～LM31は、全体としてリアルアイズメモリ(realize memory)を形成する。リアルアイズメモリは、例えば1つのDRAMであり、その内の所定のデータ幅を有する各メモリ領域が、それぞれローカルメモリLM0～LM31に相当する。

【0084】

上記構成のグラフィックプロセッサ50において、ポリゴン表現された物体のデータが、I/O部52または53に入力される。入力されたデータに基づき、ラスタライザ55は、n角形($n > 3$)ポリゴンの三角形ポリゴンへの分解処理(ステップS11、S12)、三角形ポリゴンの頂点座標の抽出処理(ステップS13)、及び境界箱または境界球の設定処理(ステップS14)を行う。そして、ラスタライザ55はこれらの情報を信号処理部56-0～56-31へ投入する。信号処理部56-0～56-31では、各々が異なる境界箱(ポリゴン)についての処理(ステップS15～S18)を並列的に行う。またそれぞれの信号処理部56-0～56-31においては、複数のリアライズパイプRPによって、複数の格子点について並列的に処理を行うことが出来る。そして、信号処理部56-0～56-31で得られた符号付最短距離D($r \rightarrow$)によって、物体が陰関数表現によって描画される。なお符号付最短距離D($r \rightarrow$)は、ローカルメモリLM0～LM31に記憶される。また信号処理部56-0～56-31は、第2の実施形態で説明したステップS32～S34の処理が可能である。この場合、ステップS30、S31、S35、S36、S37の処理を、例えばラスタライザ55が行い、格子設定回数kはいずれかのメモリに保持される。更に信号処理部56-0～56-31は、第3の実施形態で説明したステップS40～S45の処理を行うことも可能である。

【0085】

以上のように、上記第1乃至第3の実施形態で説明した処理は、本実施形態で説明したような画像処理プロセッサを用いても実施することが出来る。

【0086】

上記のように、この発明の第1乃至第4の実施形態に係る画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータによれば、三角形ポリゴン毎に境界箱を生成し、格子点から三角形ポリゴンまでの符号付最短距離D($r \rightarrow$)を求めている。そして、全ての三角形ポリゴンについての符号付距離関数D($r \rightarrow$)を重ね合わせることによって、物体を表現する。すなわち、 $D(r \rightarrow) = 0$ の点の集合が物体の表面を形成しており、そしてその点の集合が陰関数 $\phi(r \rightarrow) = 0$ を満たす。従って、本発明の実施形態に係る方法では、直接的に陰関数 $\phi(r \rightarrow) = 0$ を求めるようなことはしていないが、 $D(r \rightarrow) = 0$ の集合を探索することによって、実質的に陰関数 $\phi(r \rightarrow) = 0$ が求められていることになる。本方法によれば、複雑な形状を有する物体であっても、確実に陰関数表現を得ることが出来、汎用性の高い陰関数表現方法が提供出来る。

【0087】

なお、上記実施形態に係る方法であると、物体表面は、図7に示すように離散化された格子点によって定義される。従って、図10乃至図13に示す処理を行う際には、必ずしも三角形ポリゴン上に格子点が存在するわけではない。このような場合には近似処理を行い、三角形ポリゴン上ではないが、最も近い格子点を $D(r \rightarrow) = 0$ を満たす点として扱うことが出来る。

【0088】

また、陰関数 $\phi(r \rightarrow)$ だけでなく、同時に $\nabla \phi(r \rightarrow)$ を求めることにより、格子点の存在しない位置についても、 $\phi(r \rightarrow)$ を3次多項式で補完でき、その値を求めることが出来る。なお $\nabla \phi(r \rightarrow)$ は下記の式で求められる。

【数1】

$$\nabla \phi(\vec{r}) = \left(\frac{\partial \phi}{\partial x}, \frac{\partial \phi}{\partial y}, \frac{\partial \phi}{\partial z} \right)' \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y}, \frac{\partial^2 \phi}{\partial y \partial z}, \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial z}, \frac{\partial^3 \phi}{\partial x \partial y \partial z} \right)$$

【0089】

更に、上記実施形態では境界箱に含まれる全ての格子点について求めた符号付最短距離D($r \rightarrow$)によって、陰関数 $\phi(r \rightarrow) = 0$ を得ている。しかし、物体表面を表すには、三角形ポリゴンからの距離が、 ε 以下の格子点からの符号付最短距離D($r \rightarrow$)から陰関数 $\phi(r \rightarrow)$ が得られれば十分である。そして三角形ポリゴンからの距離が ε 以上の格子点の場合、符号付最短距離D($r \rightarrow$)は符号関数 $\text{sgn}(z')$ が等しく、且つ絶対値が ε

よりも大きければ足りるため、単純な外挿によって $\phi(r \rightarrow)$ を求めることが出来る。また、三角形ポリゴンからの距離が ε 以上の格子点を用いて $\phi(r \rightarrow)$ を得る場合には、再初期化を行っても良い。再初期化とは、陰関数 $\phi(r \rightarrow) = 0$ の $\phi(r \rightarrow)$ が符号付最短距離関数の性質を満たしていないときに行う修正であり、次の方程式を τ について定常計算することを行う。

【数2】

$$\frac{\partial \phi}{\partial \tau} = S(\phi_{\tau=0})(1 - |\nabla \phi|)$$

【0090】

但し、 τ はタイムステップである。再初期化は、陰関数表現された形状が時間と共に変化することにより符号付距離関数の性質を満たさなくなることを防止するためのものである。従って、式中に時間に関する変数が含まれることになる。また $S(\phi_{\tau=0})$ は、符号関数 sgn の近似関数であり、次式で表される。

【数3】

$$S(\phi) = \frac{\phi}{\sqrt{\phi^2 + \delta^2}} \approx \text{sgn}(\phi)$$

【0091】

但し、 δ はほぼ 2ε に近い値であり、 δ が十分に小さい場合に成立する。

【0092】

更に、上記実施形態では全てのポリゴンが三角形ポリゴンである場合について説明してきたが、勿論、四角形ポリゴンをそのまま用いても良い。この場合には、四角形ポリゴンに含まれる2つの三角形ポリゴンからの符号付最短距離 $D(r \rightarrow)$ を重ね合わせれば良い。

【0093】

なお、上記第1乃至第4の実施形態に係る画像処理プログラム、画像処理コンピュータ、またはシステムLSIは、例えばゲーム機、ホームサーバー、テレビ、または携帯情報端末などに搭載することが出来る。図38は上記第1乃至第4の実施形態で説明した画像処理方法を行なうデジタルテレビの備えるデジタルボードのブロック図である。デジタルボードは、画像・音声などの通信情報を制御するためのものである。図示するように、デジタルボード100は、フロントエンド部110、画像描画プロセッサシステム120、デジタル入力部130、A/Dコンバータ140、180、ゴーストリダクション部150、三次元Y/C分離部160、カラーデコーダ170、LAN処理LSI190、LAN端子200、プリッジメディアコントローラ210、カードスロット220、フラッシュメモリ230、及び大容量メモリ（例えばDRAM：Dynamic Random Access Memory）240を備えている。フロントエンド部110は、デジタルチューナーモジュール111、112、OFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplex）復調部113、QPSK（Quadrature Phase Shift Keying）復調部114を備えている。

【0094】

画像描画プロセッサシステム120は、送受信回路121、MPEG2デコーダ122、グラフィックエンジン123、デジタルフォーマットコンバータ124、及びプロセッサ125を備えている。そして、例えばグラフィックエンジン123及びプロセッサ125が、上記第1乃至第15の実施形態で説明したグラフィックプロセッサ50及びホストプロセッサ20に対応する。

【0095】

上記構成において、地上デジタル放送波、BSデジタル放送波、及び110°CSデジタル放送波は、フロントエンド部110で復調される。また地上アナログ放送波及びDV D/VTR信号は、3次元Y/C分離部160及びカラーデコーダ170でデコードされる。これらの信号は、画像描画プロセッサシステム120に入力され、送受信回路121で

、映像・音声・データに分離される。そして、映像に関しては、MPEG2デコーダ122を介してグラフィックエンジン123に映像情報が入力される。するとグラフィックエンジン123は、上記実施形態で説明した方法により、陰関数によって物体を描画する。

【0096】

図39は、上記第1乃至第4の実施形態で説明した画像処理方法を行なう録画再生機器のプロック図である。図示するように、録画再生機器200はヘッドアンプ210、モータードライバ220、メモリ230、画像情報制御回路240、ユーザI/F用CPU250、フラッシュメモリ260、ディスプレイ270、ビデオ出力部280、及びオーディオ出力部290を備えている。

【0097】

画像情報制御回路240は、メモリインターフェース241、デジタル信号プロセッサ242、プロセッサ243、映像処理用プロセッサ244、及びオーディオ処理用プロセッサ245を備えている。

【0098】

上記構成において、ヘッドアンプ210で読み出された映像データが画像情報制御回路240に入力される。そして、デジタル信号処理プロセッサ242から映像情報用プロセッサに図形情報が入力される。すると映像情報用プロセッサ245は、上記実施形態で説明した方法により物体を描画する。

【0099】

上記のように、この発明の一態様に係る画像処理方法は、

1. コンピュータを用いた画像処理方法であって、
三角形ポリゴンの頂点座標を抽出するステップと、
前記頂点座標に基づいて、前記三角形ポリゴンを取り囲む領域を設定するステップと、

前記領域内に含まれる格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離を計測するステップと

前記格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離に基づいて図形を描画するステップと
を行う。

【0100】

2. 上記1において、前記図形は、前記ポリゴンまでの距離がゼロとなる点の集合として
描画される。

【0101】

また、この発明の一態様に係る画像処理プログラムは、

3. 図形を描画するためにコンピュータを、三角形ポリゴンの頂点座標を抽出する座標抽出手段と、

前記座標抽出手段によって抽出された前記頂点座標に基づいて、前記三角形ポリゴンを取り囲む領域を形成する領域生成手段と、

前記領域生成手段によって形成された前記領域に含まれる格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離を計測する距離計測手段と、

前記距離計測手段によって計測された前記距離に基づいて図形を描画する図形描画手段
として機能させる。

【0102】

4. 上記3において、前記図形描画手段は、前記距離計測手段によって計測した前記ポリゴンまでの距離がゼロとなる点の集合として前記図形を描画する。

【0103】

更に、この発明の一態様に係る画像処理コンピュータは、

5. ポリゴンデータが入力される入力手段と、

個々の前記ポリゴンを取り囲む領域を形成し、該領域内に含まれる格子点から前記ポリゴンまでの距離を計測し、該計測結果に基づいて陰関数表示による図形描画を行なう演算手段と、

前記陰関数表示によって得られた前記図形を表示する出力手段とを具備する。

【0104】

6. 上記6において、前記演算手段は、前記ポリゴンまでの距離がゼロとなる点の集合として、前記図形の描画を行う。

【0105】

7. 上記1において、前記格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離は、前記格子点が前記ポリゴンによって描画される図形の外側か内側かを示す符号を付加されたデータとして与えられる。

【0106】

8. 上記1において、前記三角形ポリゴンの頂点座標を抽出するステップの前に、図形を形成する複数のポリゴンの全てを、三角形ポリゴンに変換するステップを更に備える。

【0107】

9. 上記1において、前記三角形ポリゴンによって描画された図形の描画領域を複数のメッシュに分割するステップと、

前記図形の縁が存在する前記メッシュを、更に複数のメッシュに分割するステップを更に備え、

前記領域は、前記メッシュ毎に設定される。

【0108】

10. 上記2において、前記図形の表面は、前記ポリゴンを用いたパラメトリック表現を陰関数表現に変換したものである。

【0109】

11. 上記3において、前記距離計測手段は、前記格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離を、前記格子点が前記ポリゴンによって描画される図形の外側か内側かを示す符号を付加したデータとして与える。

【0110】

12. 上記3において、前記コンピュータを、前記座標抽出手段によって三角形ポリゴンの頂点座標を抽出する前に、前記図形を形成する複数のポリゴンの全てを、三角形ポリゴンに変換する変換手段として更に機能させる。

【0111】

13. 上記3において、前記コンピュータを、前記ポリゴンによって描画された図形を含む画像領域を、複数のメッシュに分割する第1分割手段と、

前記図形の縁が前記メッシュ内に存在する場合、当該メッシュを更に複数のメッシュに分割する第2分割手段として更に機能させ、

前記領域生成手段は、前記メッシュ毎に前記領域を設定する。

【0112】

14. 上記4において、前記図形描画手段によって描画された図形の表面は、前記ポリゴンを用いたパラメトリック表現を陰関数表現に変換したものである。

【0113】

15. 上記5において、前記演算手段は、前記格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離を、前記格子点が前記ポリゴンによって描画される図形の外側か内側かを示す符号が付加されたデータとして与える。

【0114】

16. 上記5において、前記演算手段は、前記ポリゴンの全てを三角形ポリゴンに変換し、且つ前記三角形ポリゴンの頂点座標を抽出し、該頂点座標に応じて前記領域を形成する。

【0115】

17. 上記5において、前記演算手段は、前記ポリゴンによって描画される図形を含む画像領域を複数のメッシュに分割し、

前記図形の縁が前記メッシュ内に存在する場合、当該メッシュを更に複数のメッシュに分割し、

前記メッシュ毎に前記領域を形成する。

【0116】

なお、本願発明は上記実施形態に限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で種々に変形することが可能である。更に、上記実施形態には種々の段階の発明が含まれており、開示される複数の構成要件における適宜な組み合わせにより種々の発明が抽出されうる。例えば、実施形態に示される全構成要件からいくつかの構成要件が削除されても、発明が解決しようとする課題の欄で述べた課題が解決でき、発明の効果の欄で述べられている効果が得られる場合には、この構成要件が削除された構成が発明として抽出されうる。

【図面の簡単な説明】

【0117】

【図1】この発明の第1の実施形態に係る画像処理コンピュータのブロック図。

【図2】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法について示しており、ポリゴン表現された物体と陰関数表現された物体の概念図。

【図3】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムのフローチャート。

【図4】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、四角形ポリゴンを三角形ポリゴンに分解するステップを示す概念図。

【図5】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、三角形ポリゴンの頂点座標を求めるステップを示す概念図。

【図6】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、境界箱を生成するステップを三次元的に示す概念図。

【図7】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、境界箱を生成するステップを2次元的に示す概念図。

【図8】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、境界箱を生成するステップを2次元的に示す概念図。

【図9】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、境界球を生成するステップを2次元的に示す概念図。

【図10】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、符号付最短距離を求めるステップを3次元的に示す概念図。

【図11】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、符号付最短距離を求めるステップを2次元的に示す概念図。

【図12】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、符号付最短距離を求めるステップを2次元的に示す概念図。

【図13】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、符号付最短距離を求めるステップを2次元的に示す概念図。

【図14】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、陰関数によって物体を描画するステップを3次元的に示す概念図。

【図15】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、陰関数によって物体を描画するステップを2次元的に示す概念図。

【図16】この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、陰関数によって物体を描画するステップを2次元的に示す概念図。

【図17】図面に代わる写真であって、この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムによって描画された物体をディスプレイ上に表示した中間画像。

【図18】図面に代わる写真であって、この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムによって描画された物体をディスプレイ上に表示した中間画像。

【図19】図面に代わる写真であって、従来のポリゴン表現によって描画された物体をディスプレイ上に表示した中間画像。

【図20】画面に代わる写真であって、従来のポリゴン表現によって描画された物体をディスプレイ上に表示した中間画像。

【図21】画面に代わる写真であって、この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムによって描画された物体の、X-Y平面に対応する断面図をディスプレイ上に表示した中間画像。

【図22】画面に代わる写真であって、この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムによって描画された物体の、X-Z平面に対応する断面図をディスプレイ上に表示した中間画像。

【図23】画面に代わる写真であって、この発明の第1の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムによって描画された物体の、Y-Z平面に対応する断面図をディスプレイ上に表示した中間画像。

【図24】この発明の第2の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて生成される境界箱の様子を2次元的に示す概念図。

【図25】この発明の第2の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムのフローチャート。

【図26】この発明の第2の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムによって、ポリゴン表現を陰関数表現に変換される物体を2次元的に示す概念図。

【図27】この発明の第2の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、境界箱を生成するステップを2次元的に示す概念図。

【図28】この発明の第2の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、境界箱を分割するステップを2次元的に示す概念図。

【図29】この発明の第2の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、境界箱を分割するステップを2次元的に示す概念図。

【図30】この発明の第2の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、境界箱を分割するステップを2次元的に示す概念図。

【図31】この発明の第2の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、境界箱を分割するステップを2次元的に示す概念図。

【図32】この発明の第3の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムのフローチャート。

【図33】この発明の第3の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムによって生成した境界箱を3次元的に示す概念図であり、1つの境界箱に複数のポリゴンが含まれる様子を示す図。

【図34】この発明の第3の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、符号付最短距離を求めるステップを2次元的に示す概念図であり、2つのポリゴンによって符号付最短距離を求めた際のX-Y平面を示す図。

【図35】この発明の第3の実施形態に係る画像処理方法及び画像処理プログラムにおいて、符号付最短距離を求めるステップを2次元的に示す概念図であり、2つのポリゴンによって符号付最短距離を求めた際のX-Y平面を示す図。

【図36】この発明の第4の実施形態に係る画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータを備える画像処理プロセッサシステムLSIのブロック図。

【図37】この発明の第4の実施形態に係る画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータを備える画像処理プロセッサシステムLSIの、演算処理部のブロック図。

【図38】この発明の第1乃至第3の実施形態に係る画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータを備えるデジタルテレビのデジタルボードのブロック図。

【図39】この発明の第1乃至第3の実施形態に係る画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータを備える録画再生機器のブロック図。

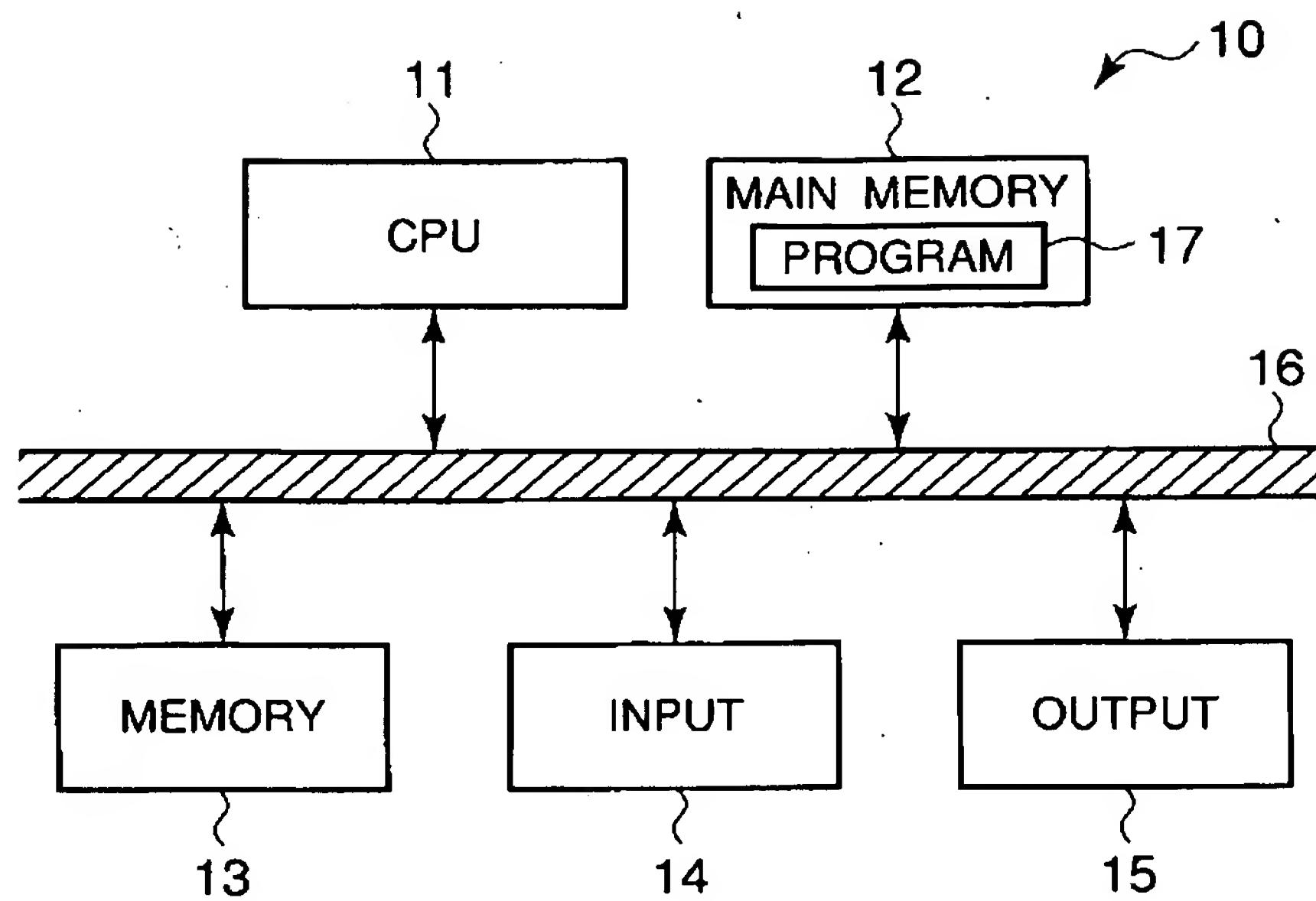
【符号の説明】

【0118】

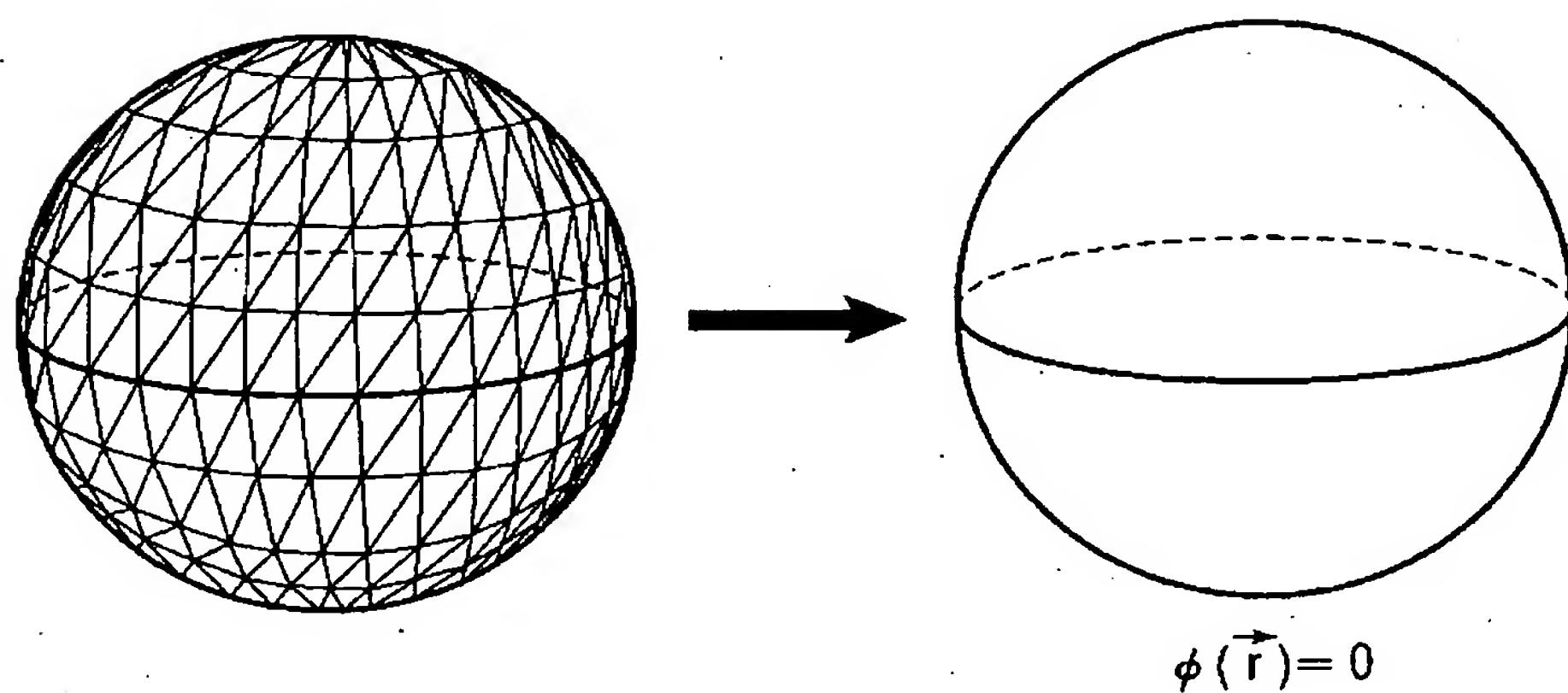
10…コンピュータ、11…C P U、12…メインメモリ、13…メモリ、14…入力装置、15…出力装置、16…バス、17…画像処理プログラム、18…システムLSI
、20…ホストプロセッサ、30…I/Oプロセッサ、40…メインメモリ、50…グラフィックプロセッサ、54…演算処理部、55…ラスタライザ、56-0～56-31…信号処理部

【書類名】 図面

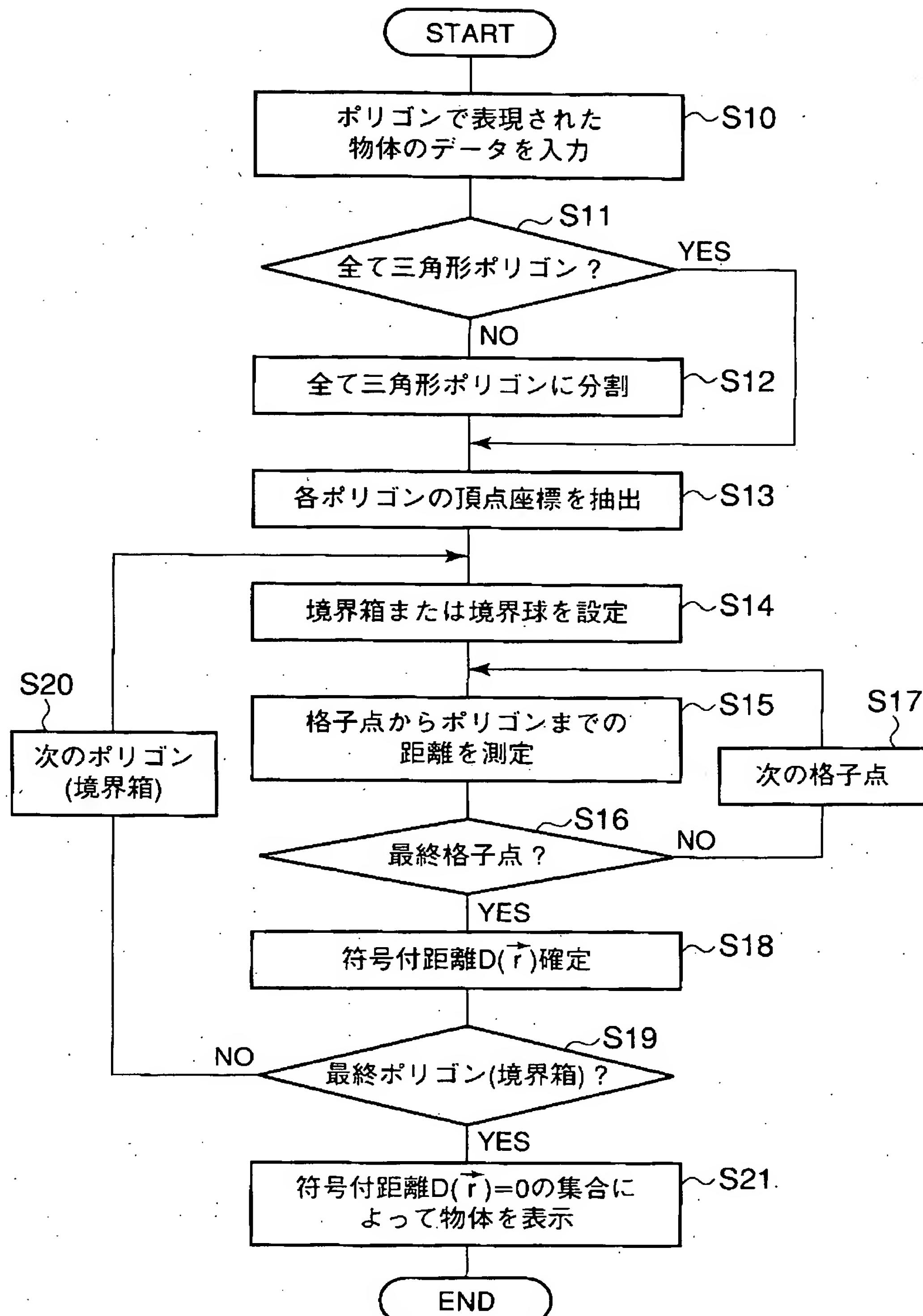
【図 1】



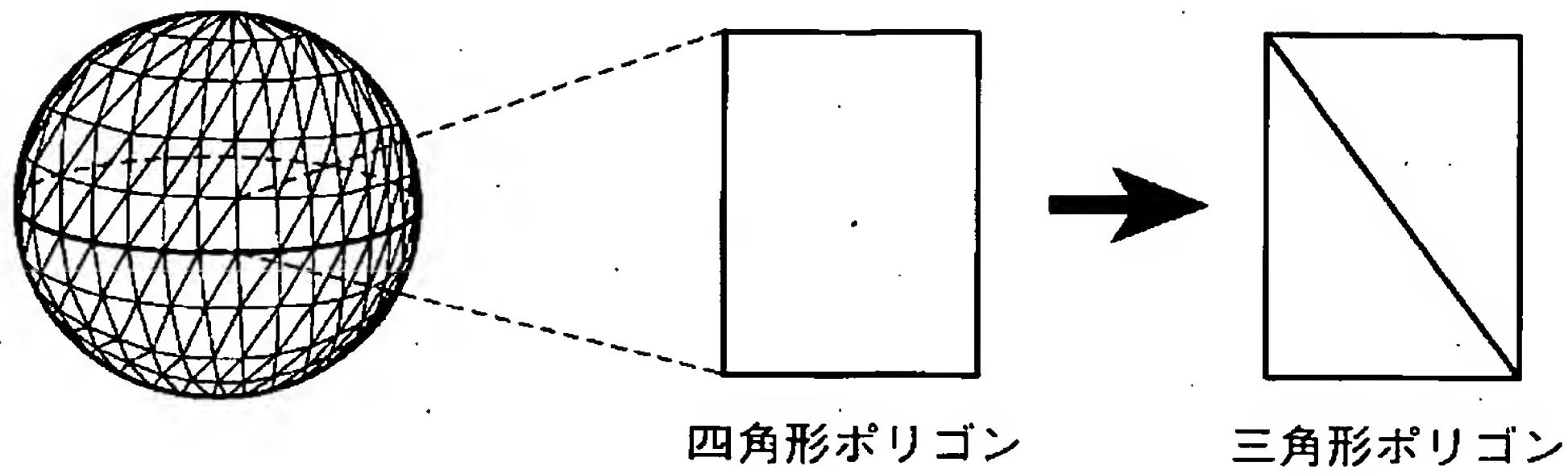
【図 2】



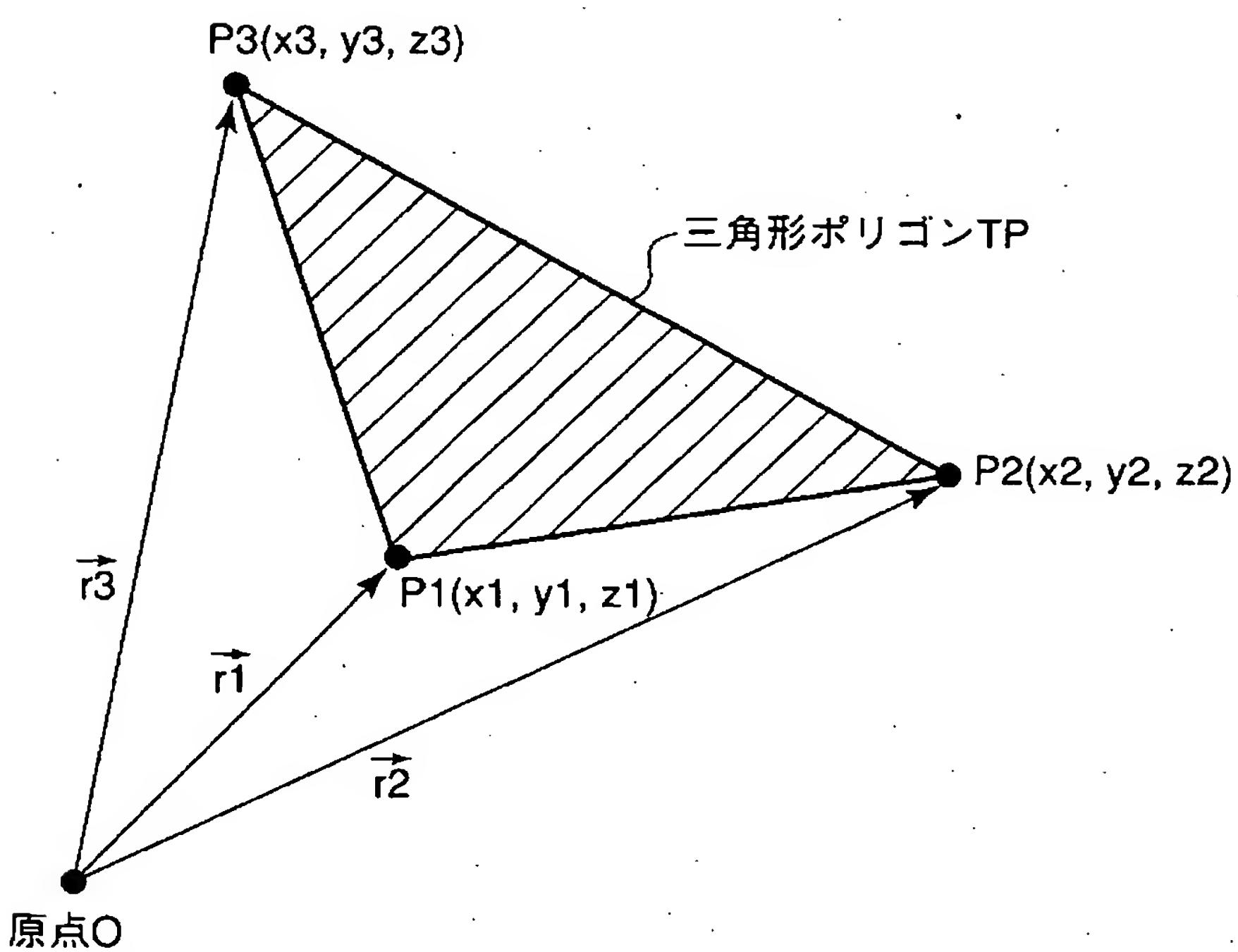
【図3】



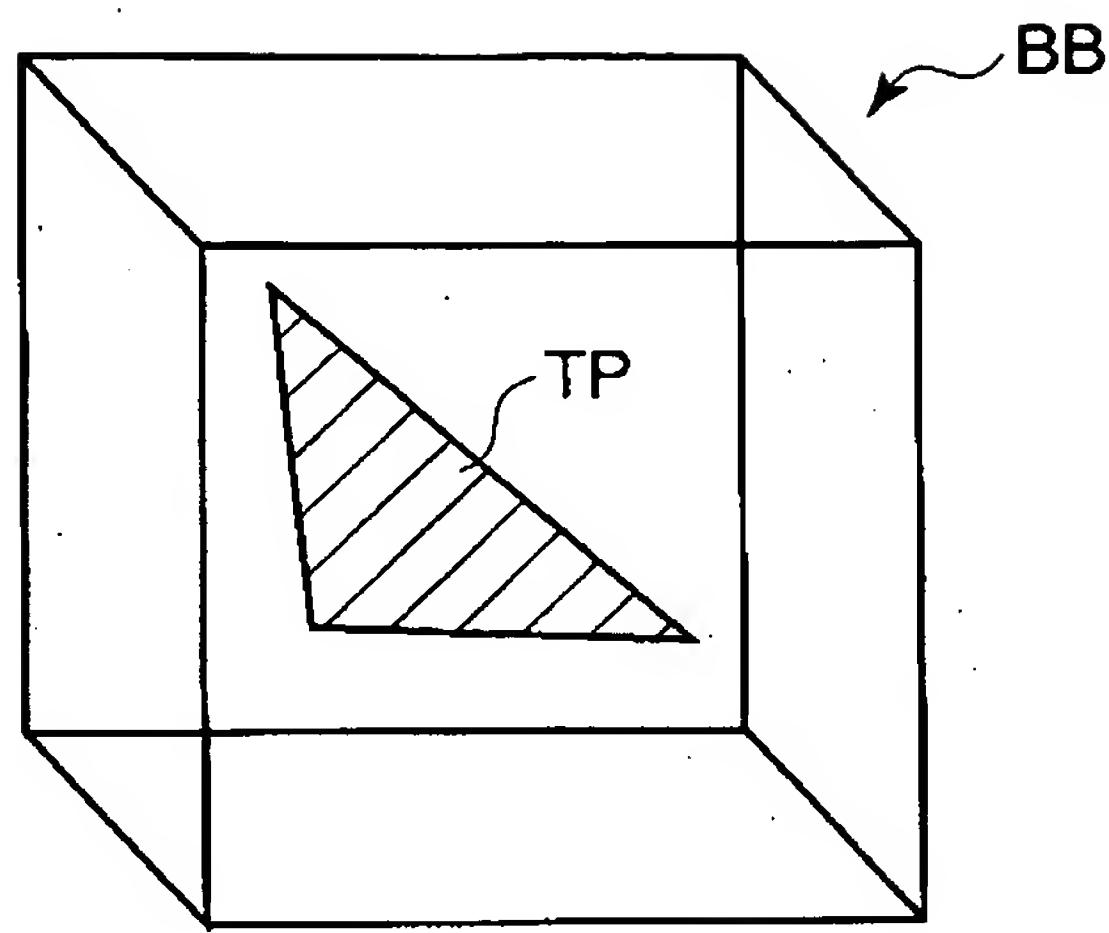
【図 4】



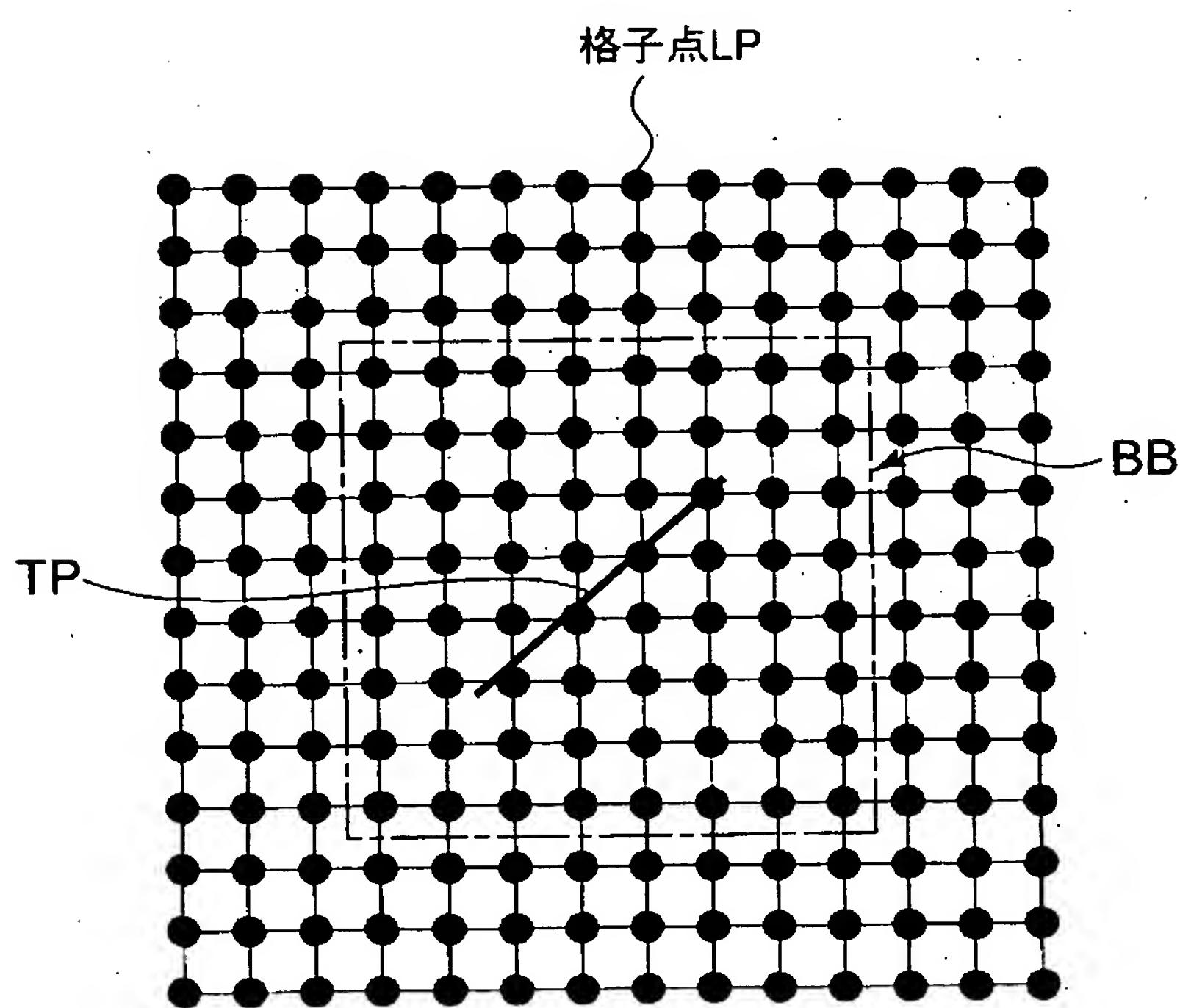
【図 5】



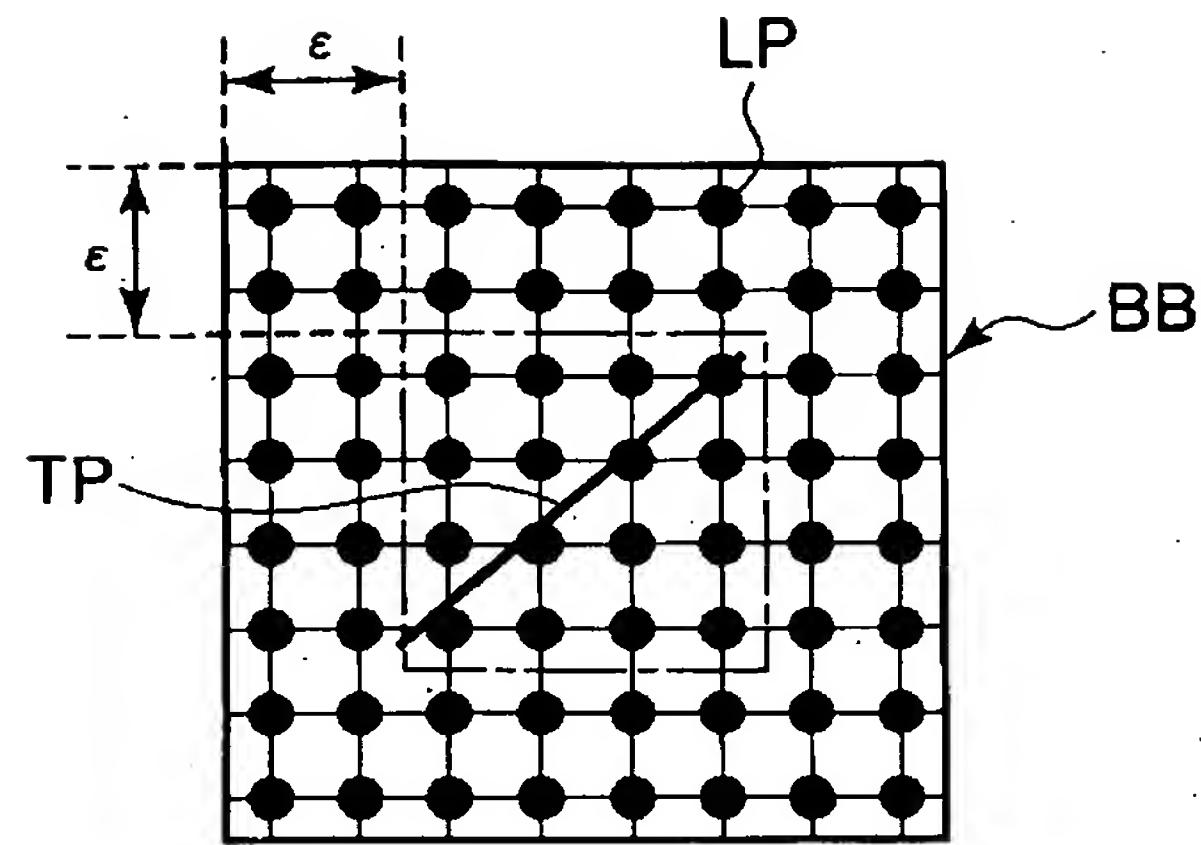
【図 6】



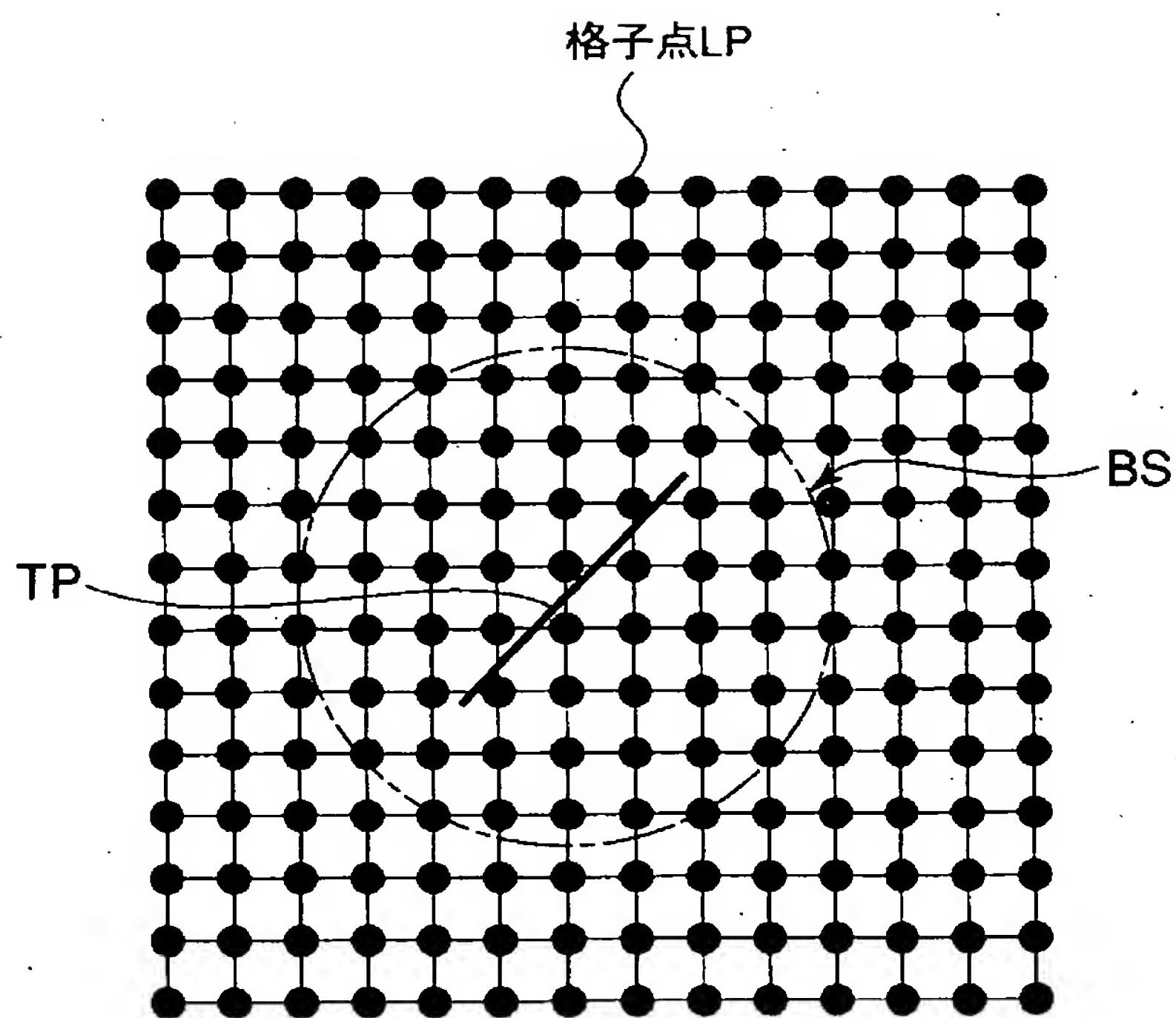
【図 7】



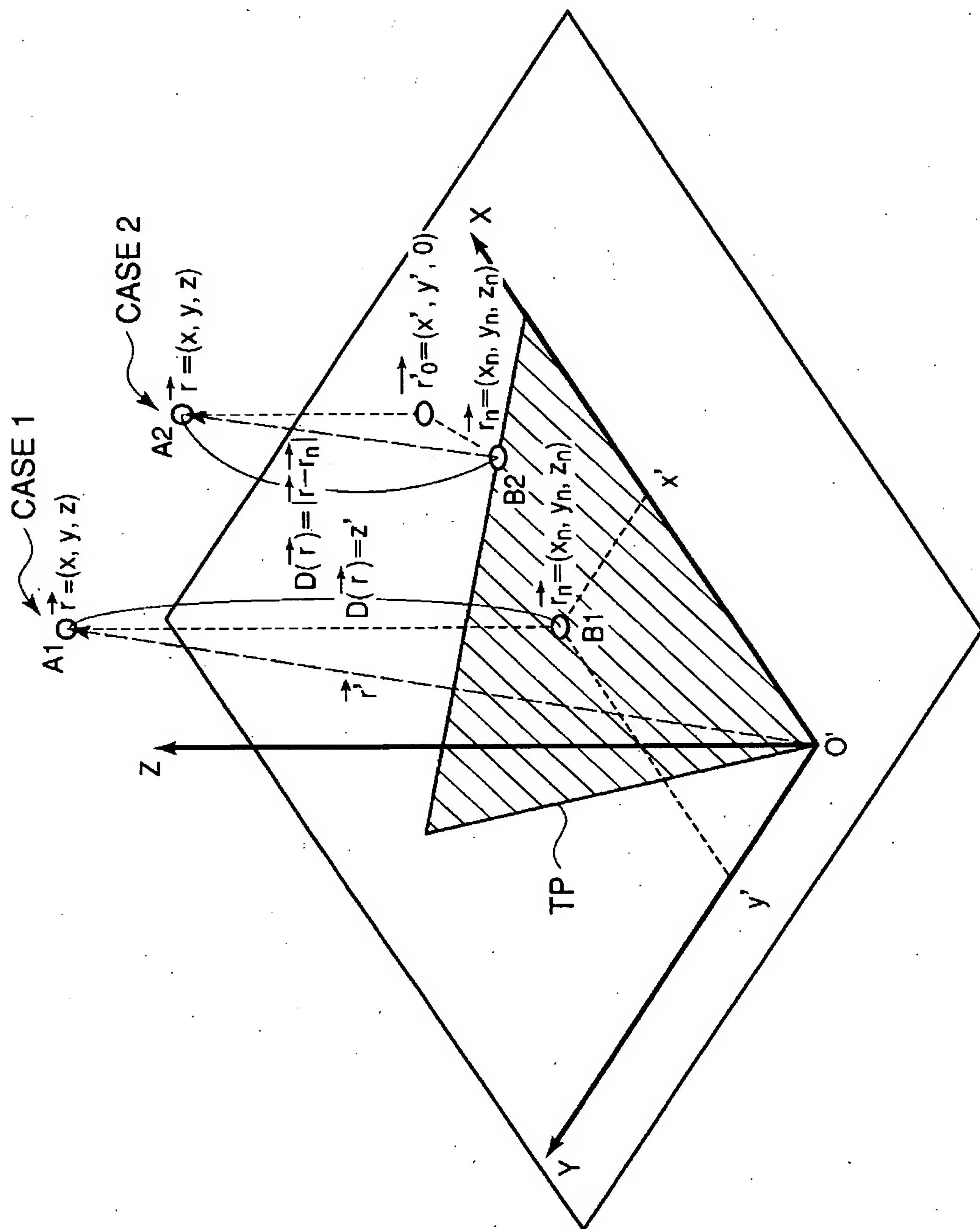
【図 8】



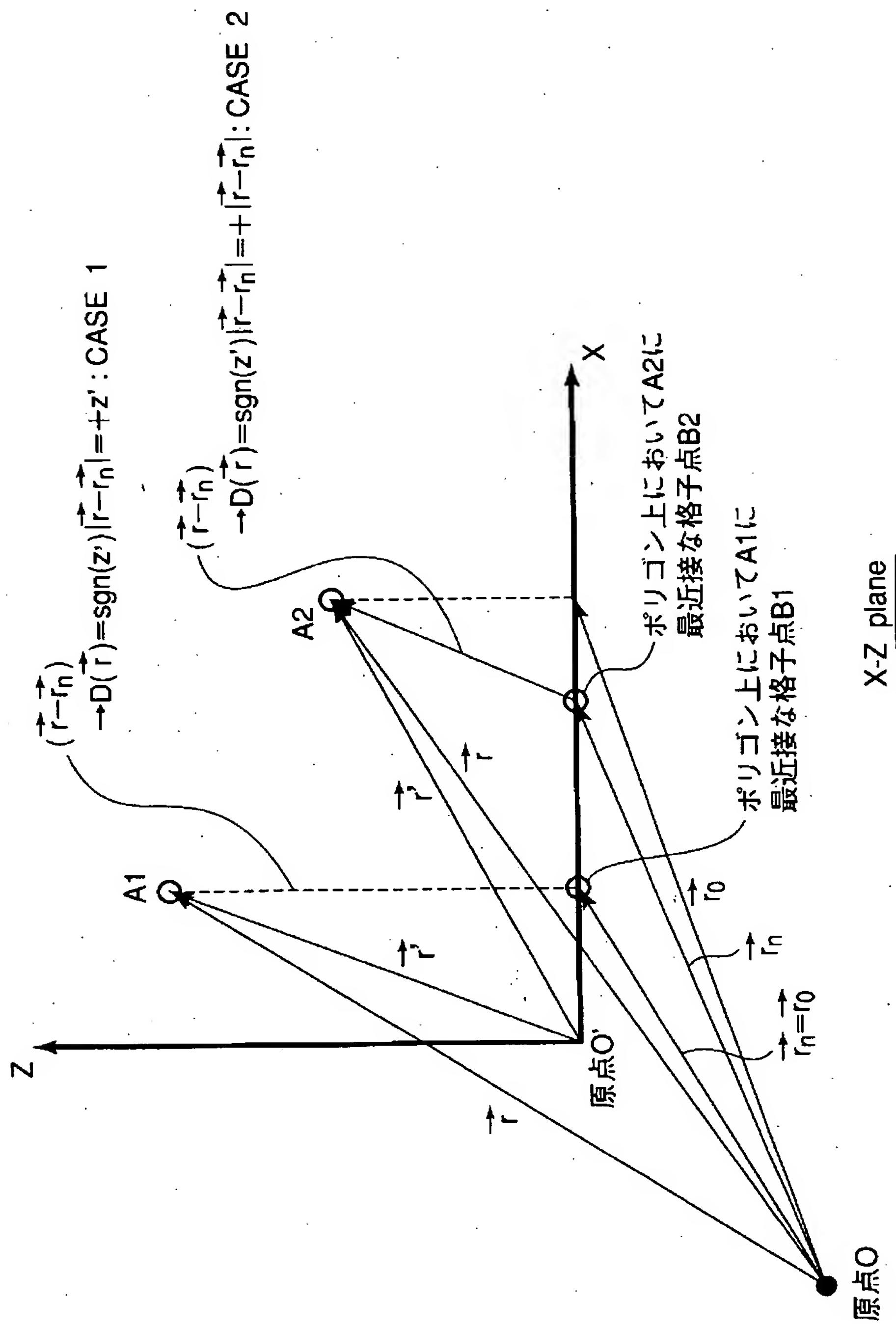
【図 9】



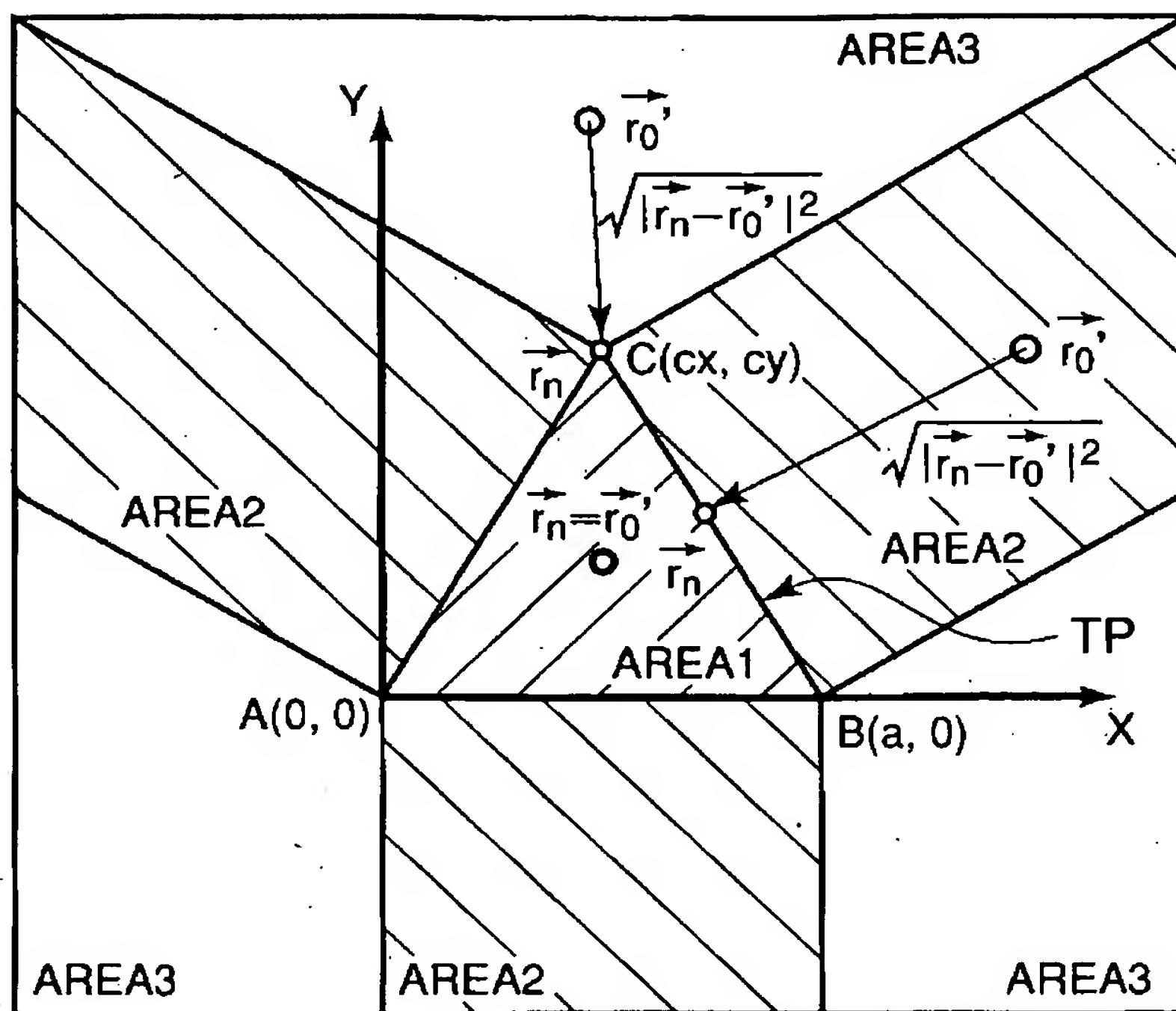
【図10】



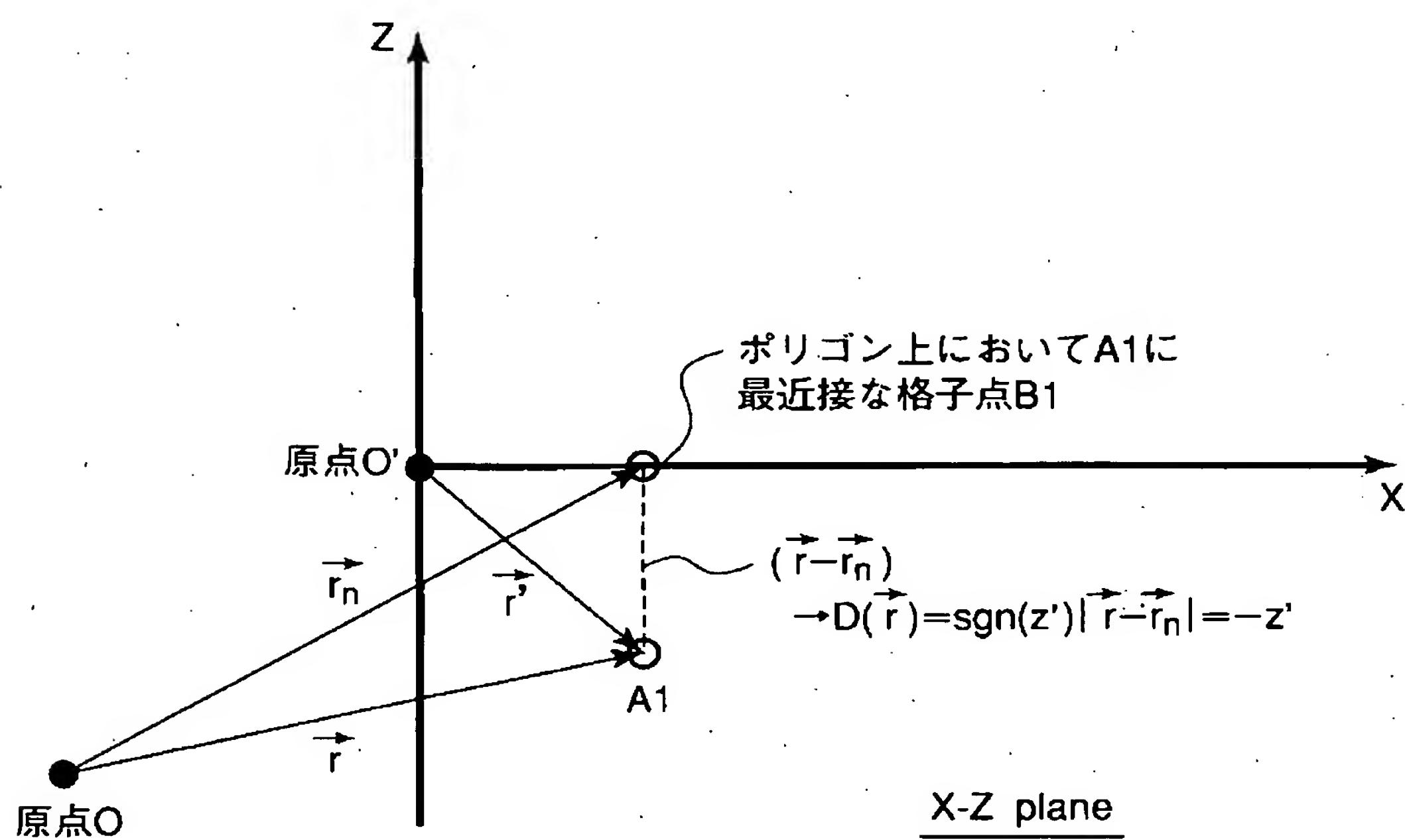
【図 1.1】



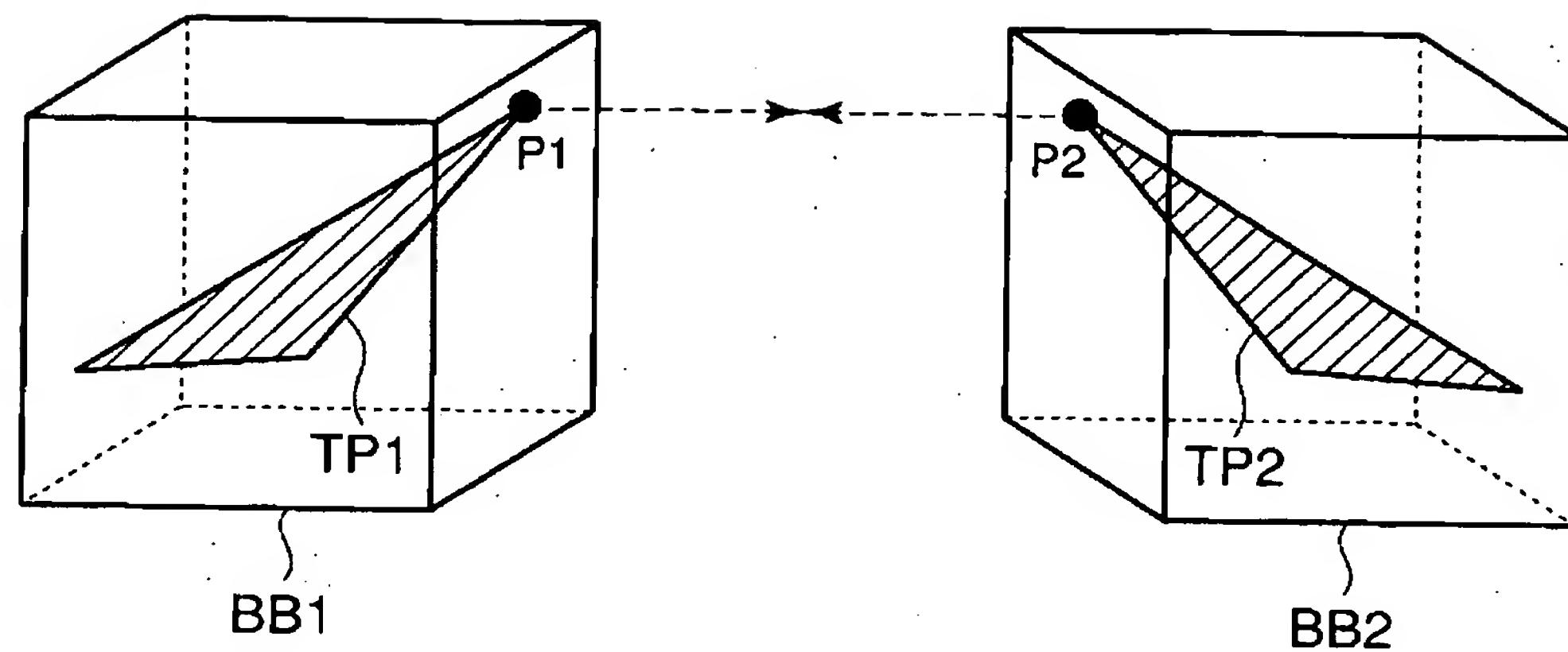
【図 1.2】



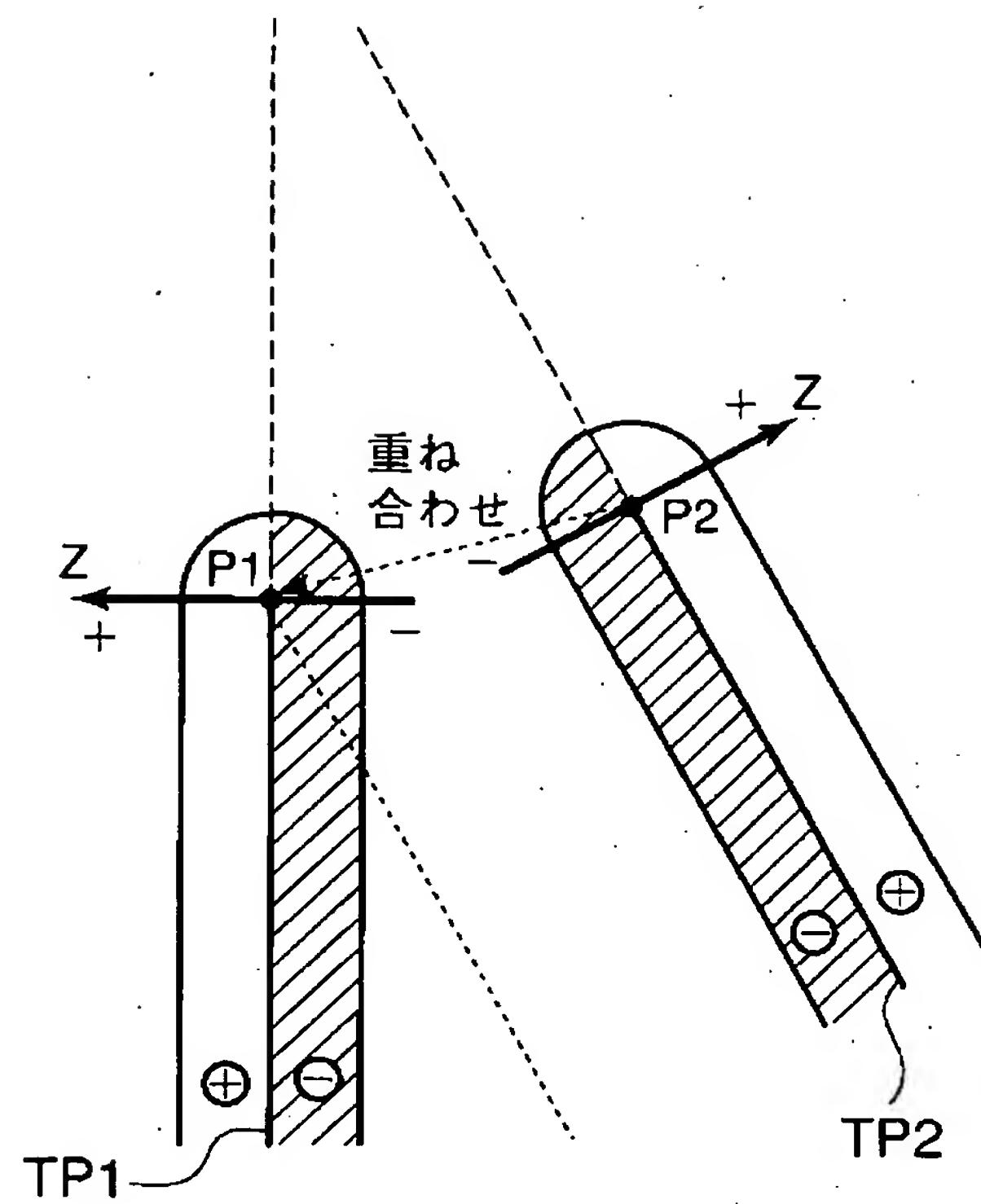
【図 1.3】



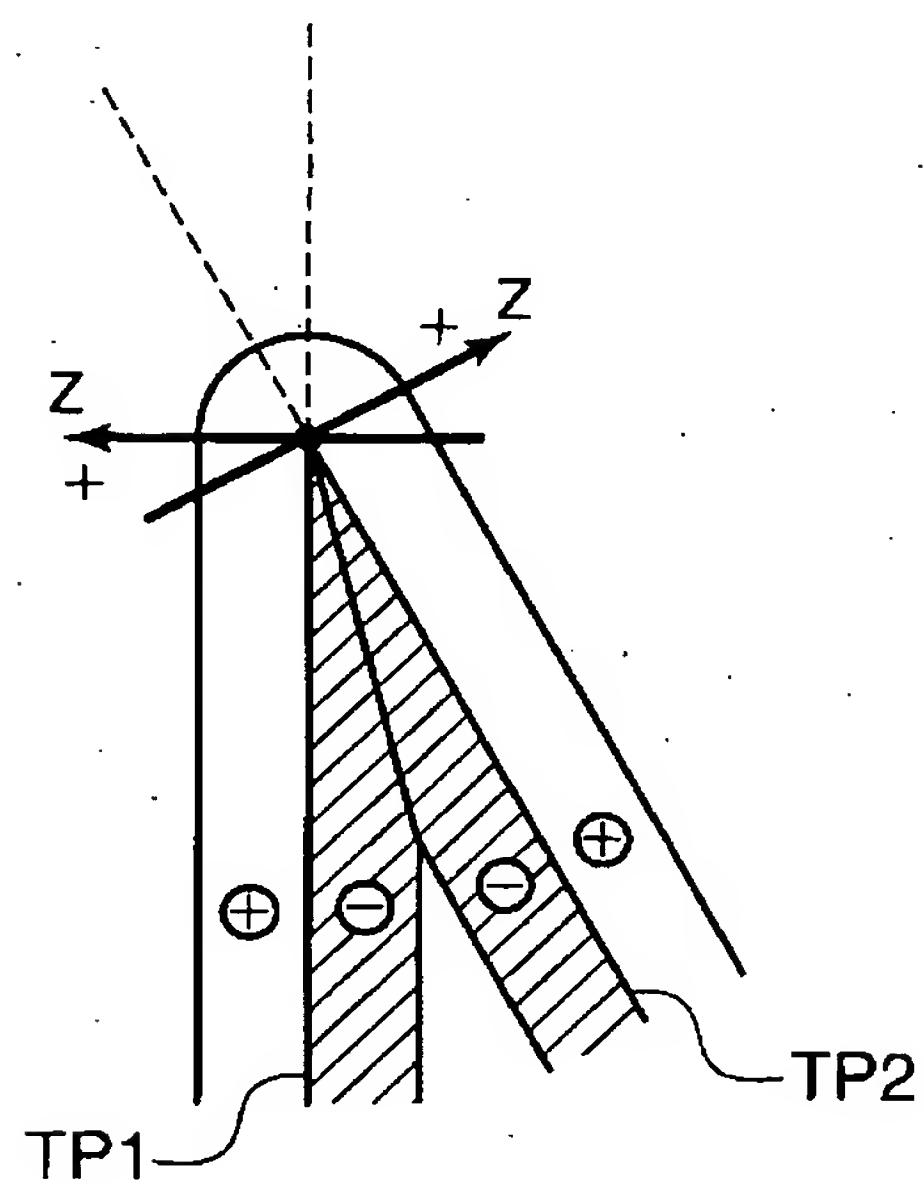
【図 14】



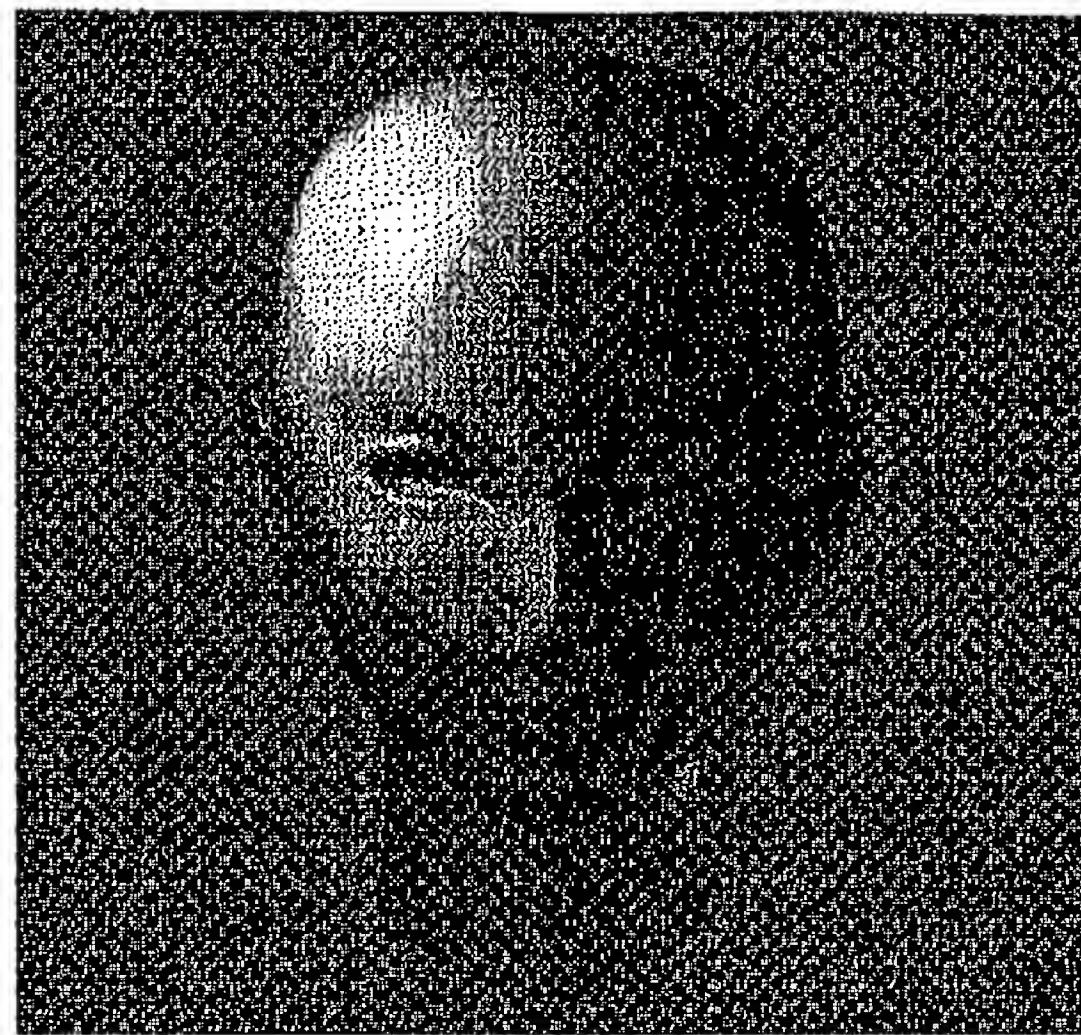
【図 1 5】



【図 1 6】

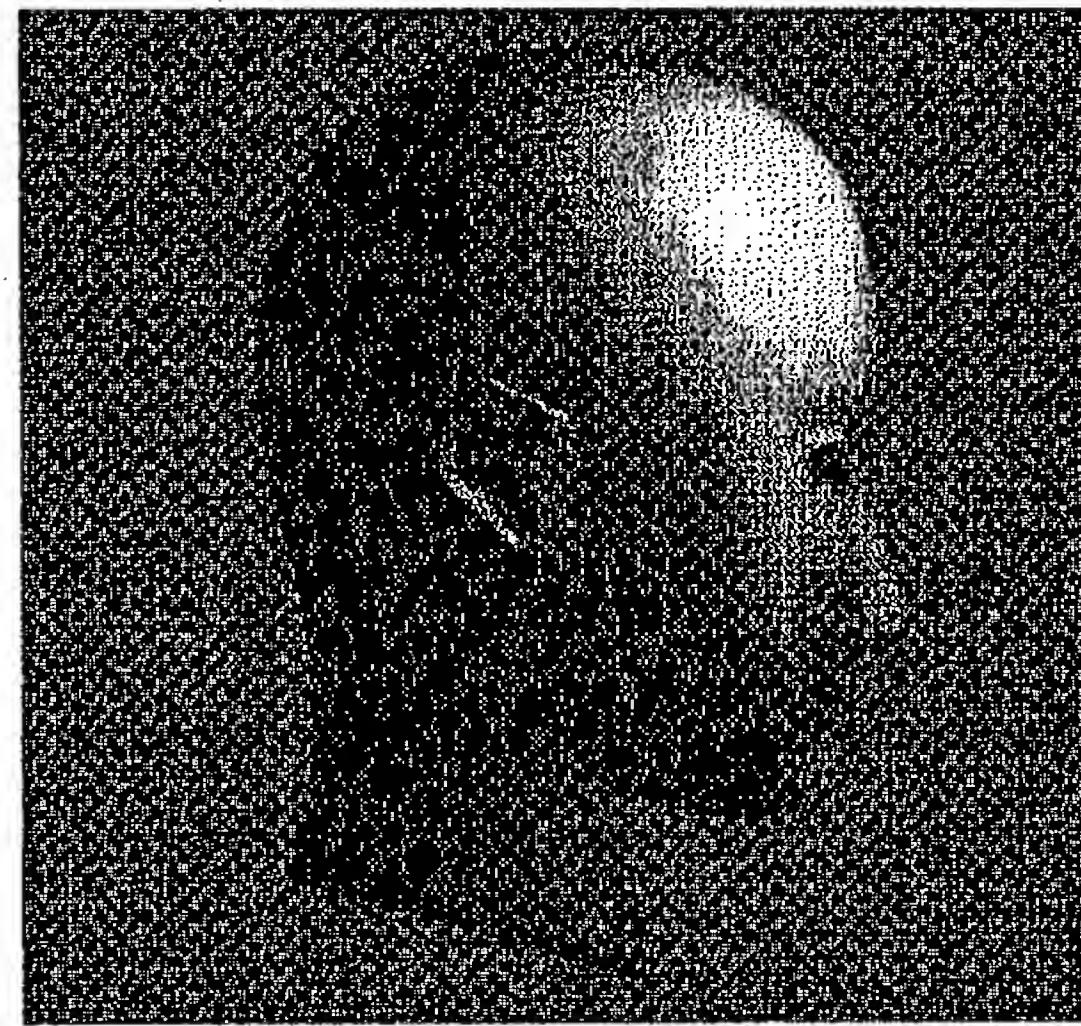


【図 17】



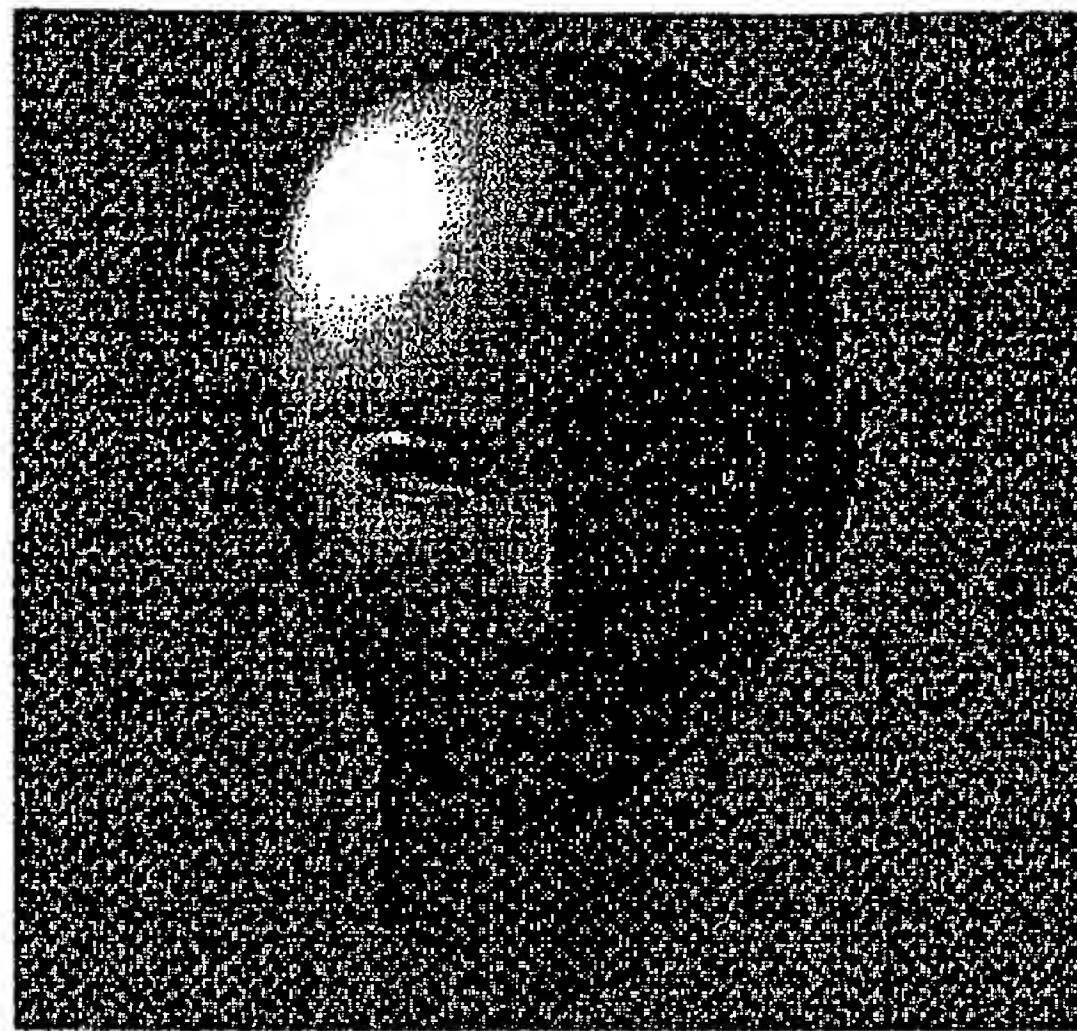
implicit function
(mesh:90×90×90)

【図 18】



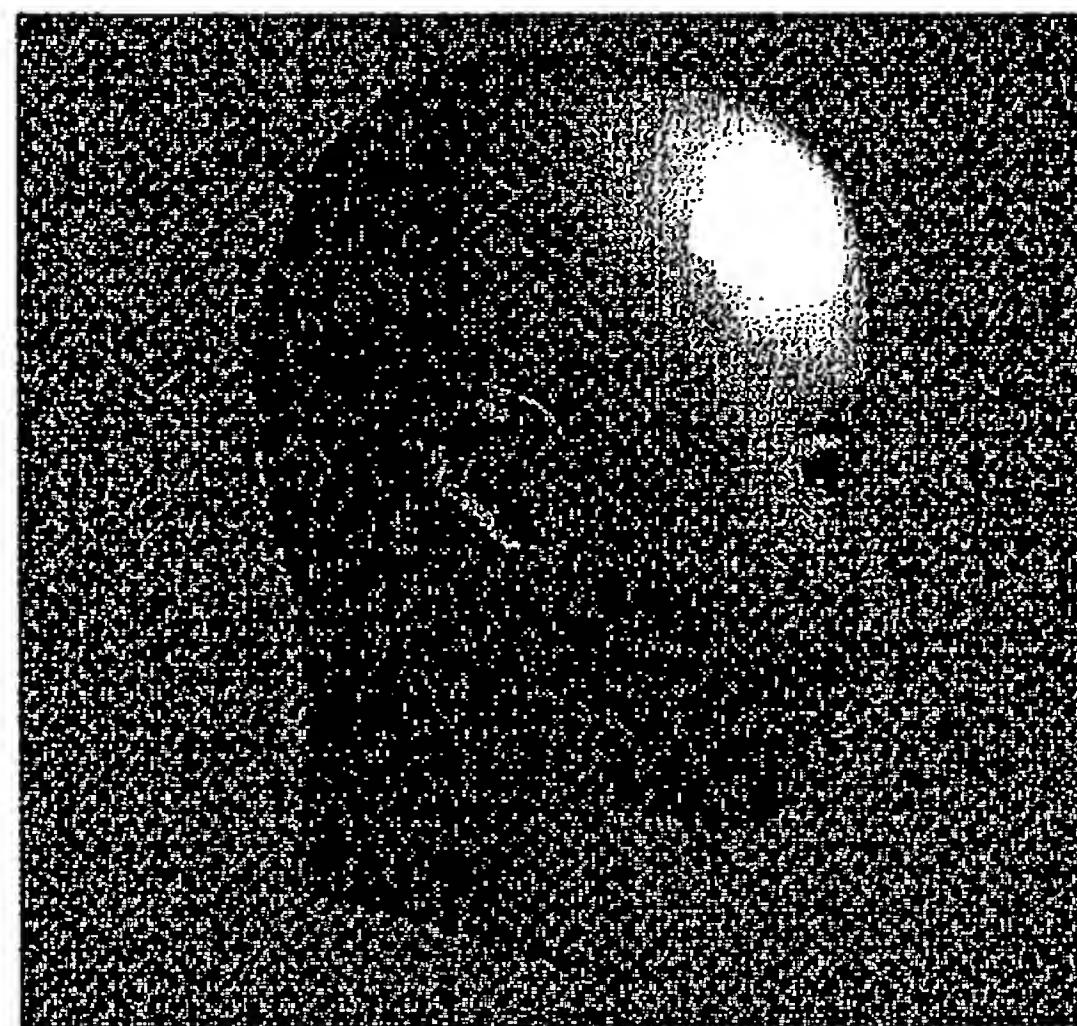
implicit function
(mesh:90×90×90)

【図 1.9】



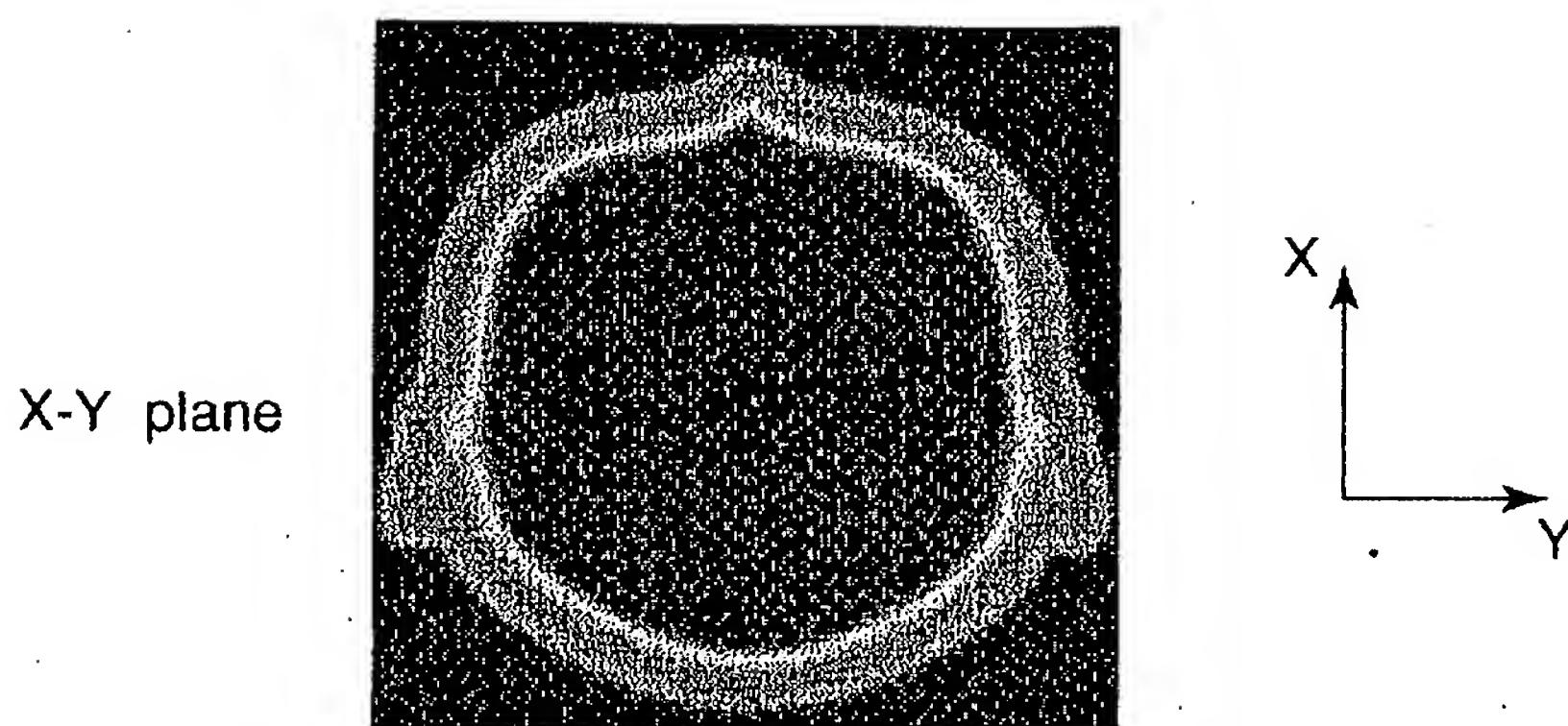
polygon
(vertex:8754, face:17504)

【図 2.0】

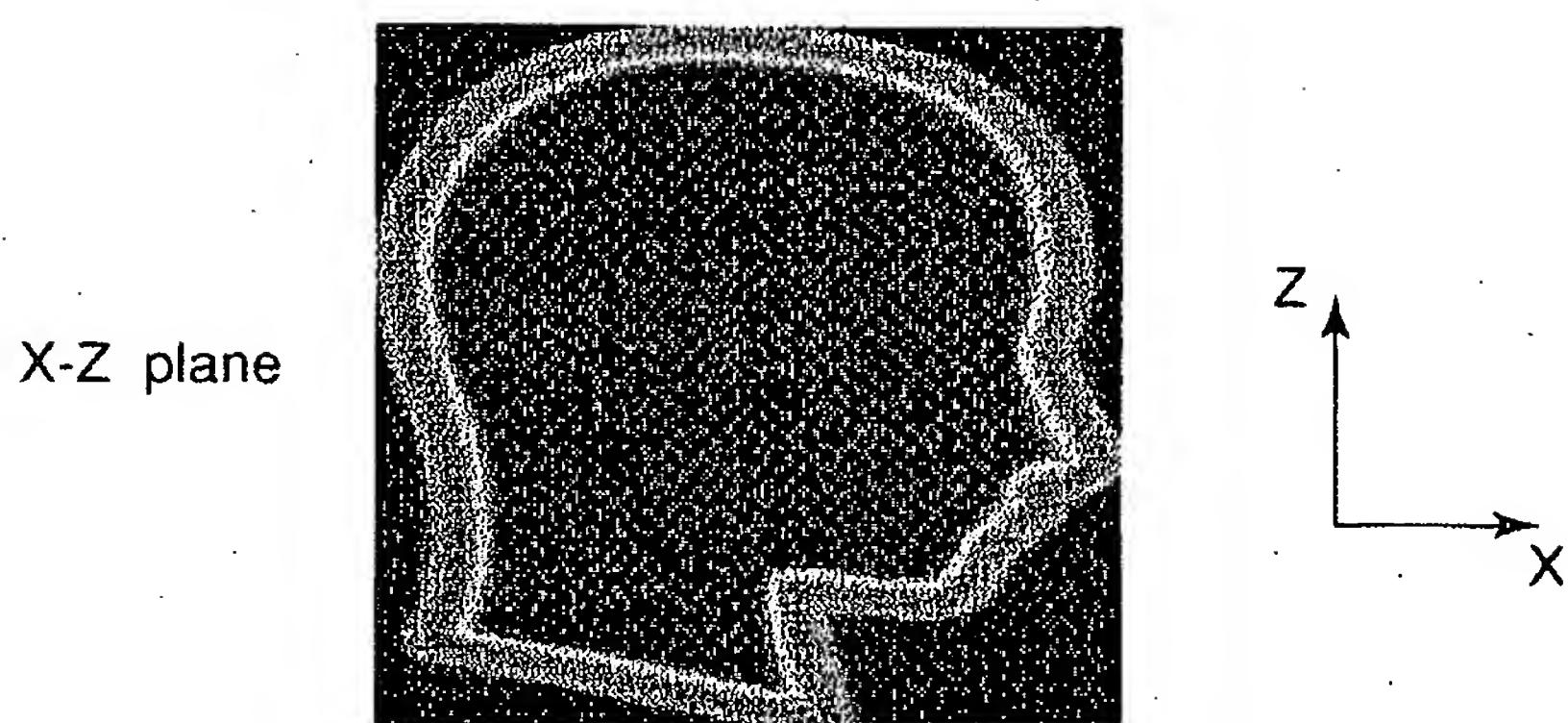


polygon
(vertex:8754, face:17504)

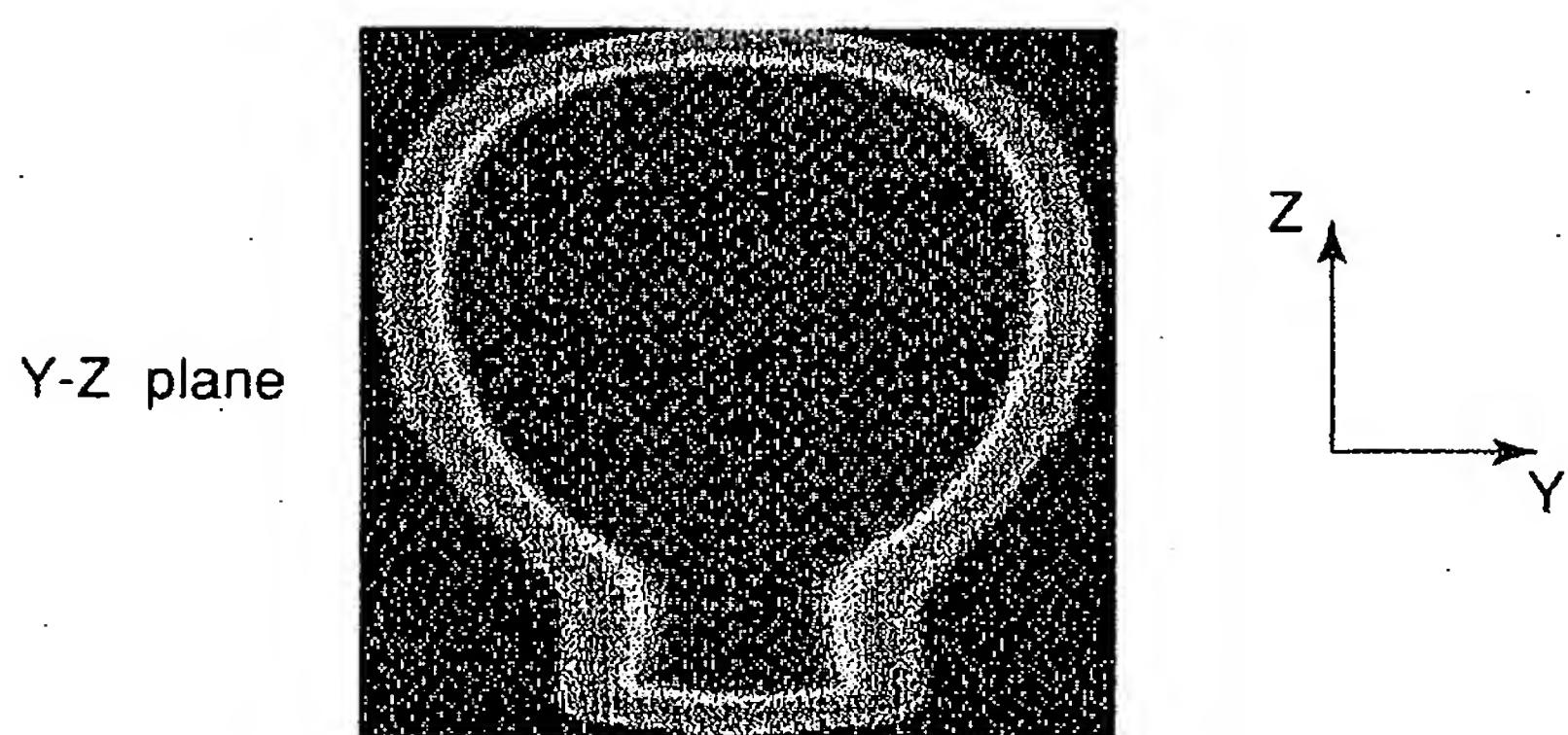
【図 2 1】



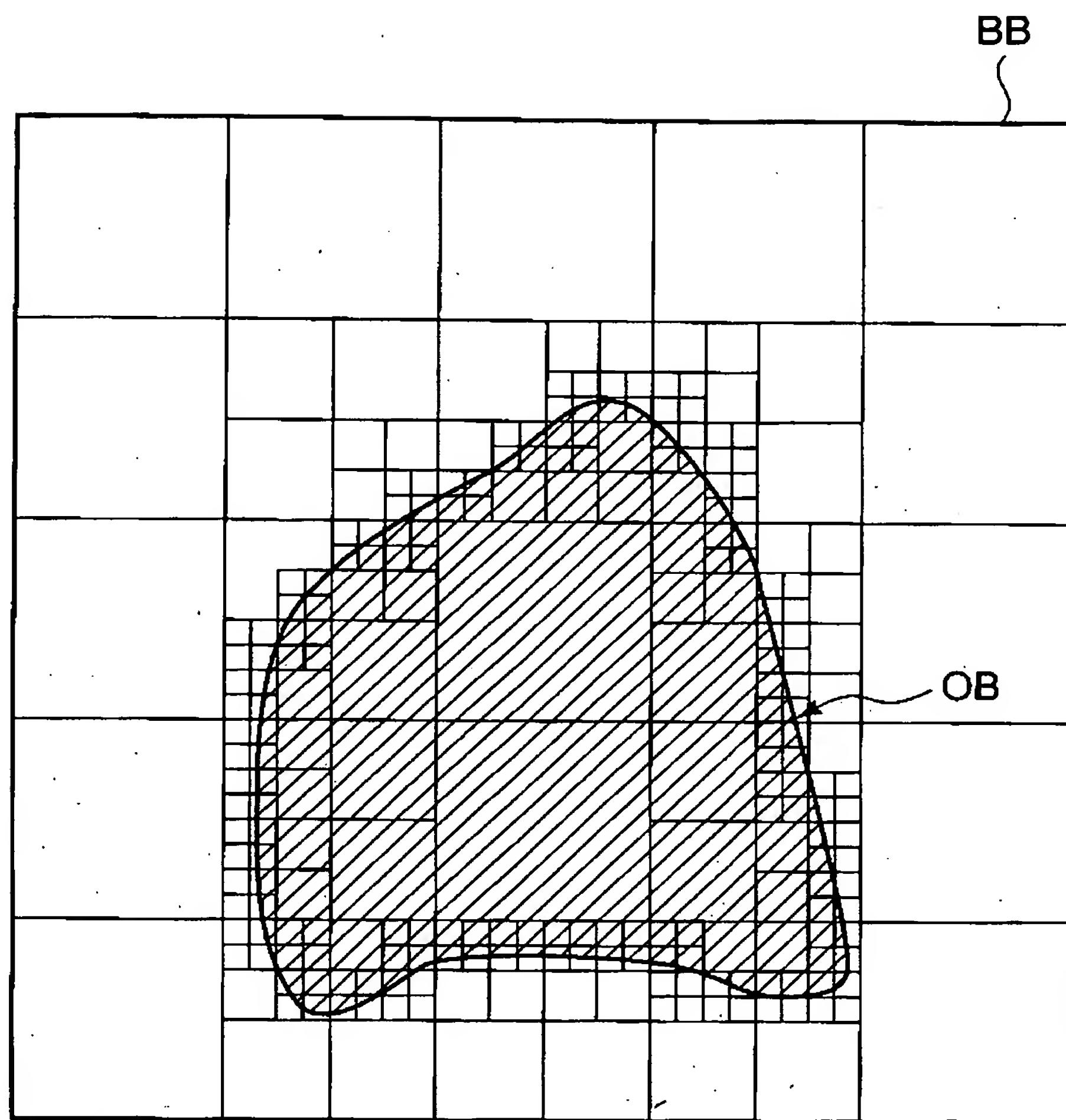
【図 2 2】



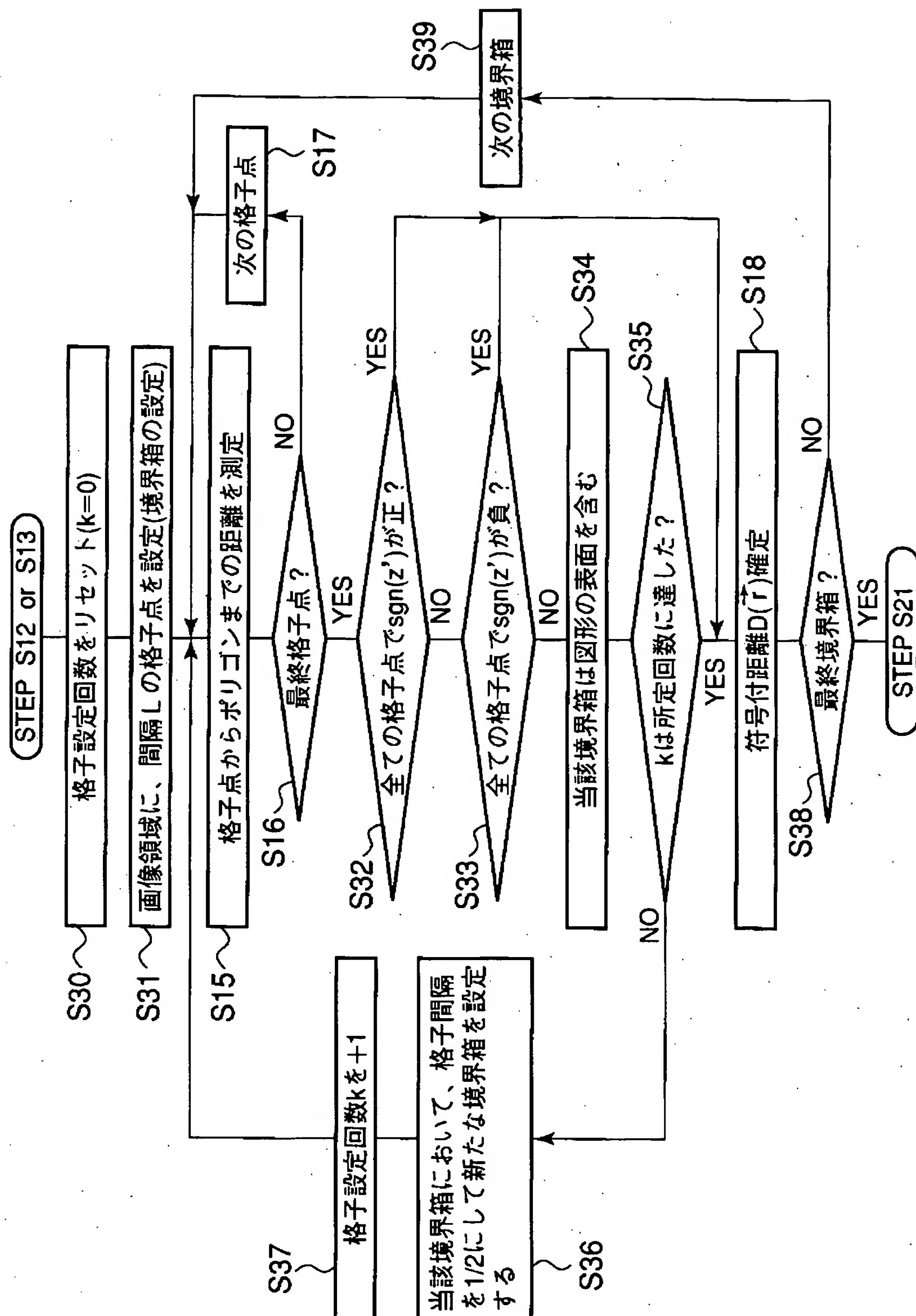
【図 2 3】



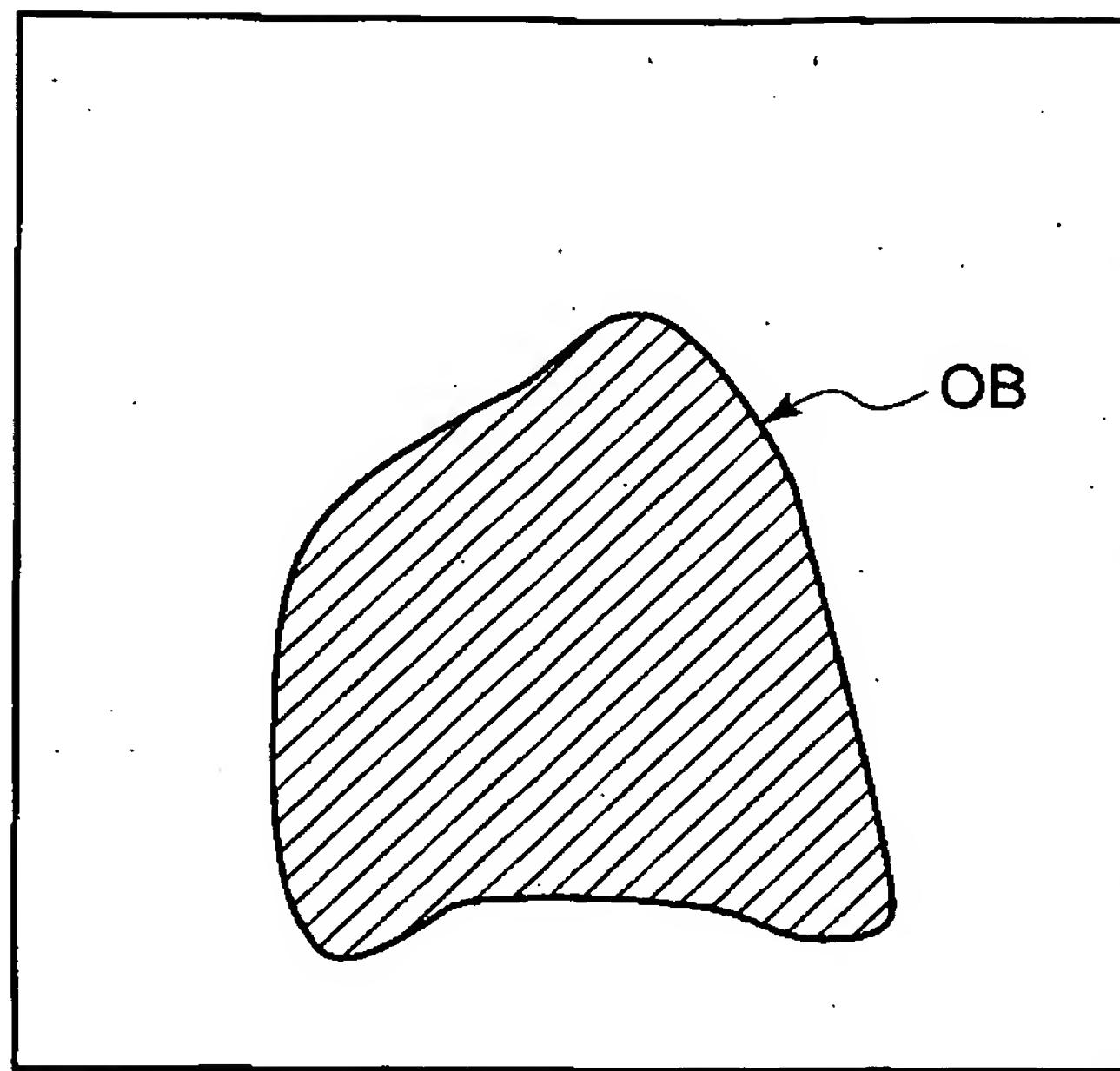
【図24】



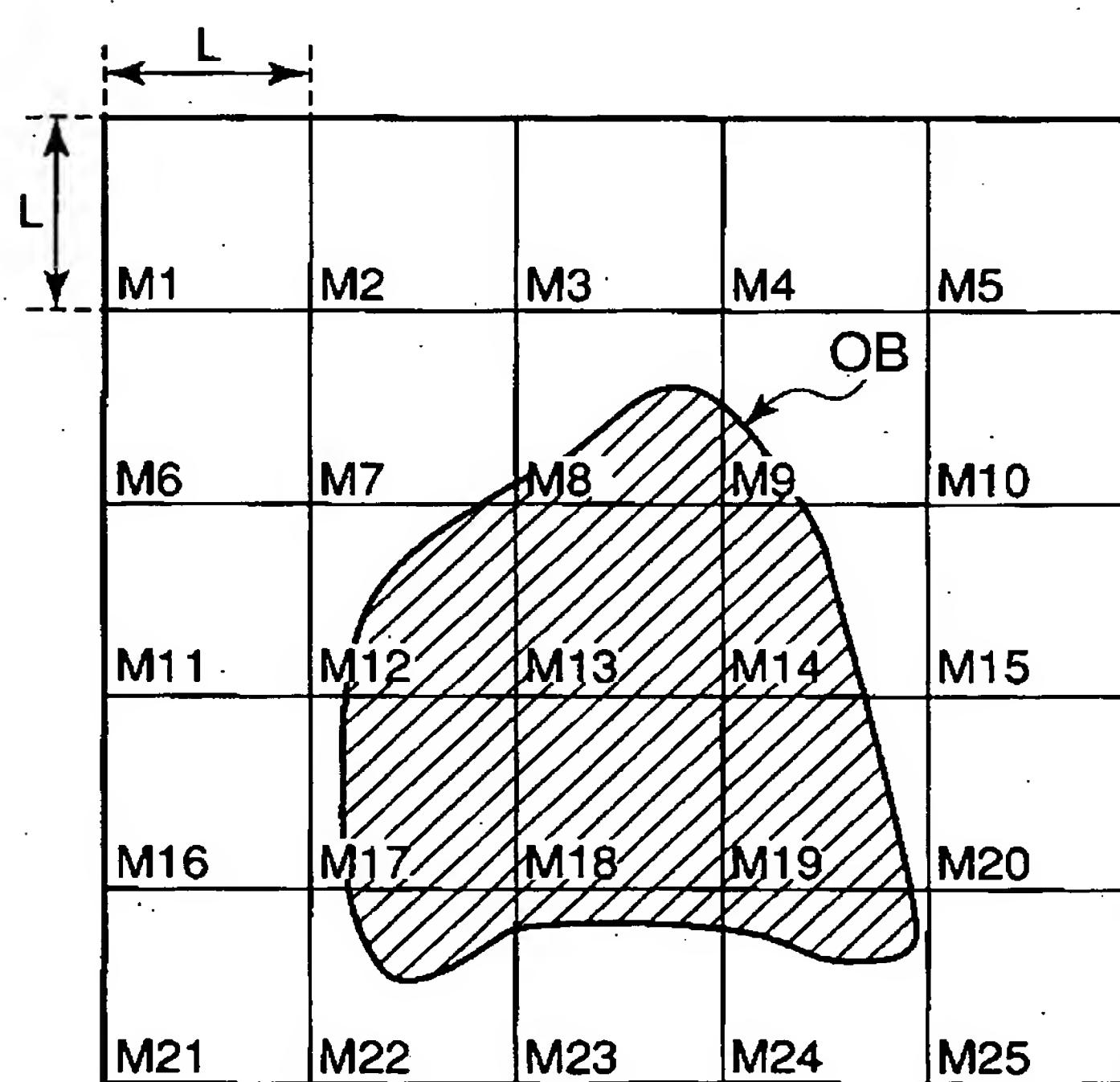
【図25】



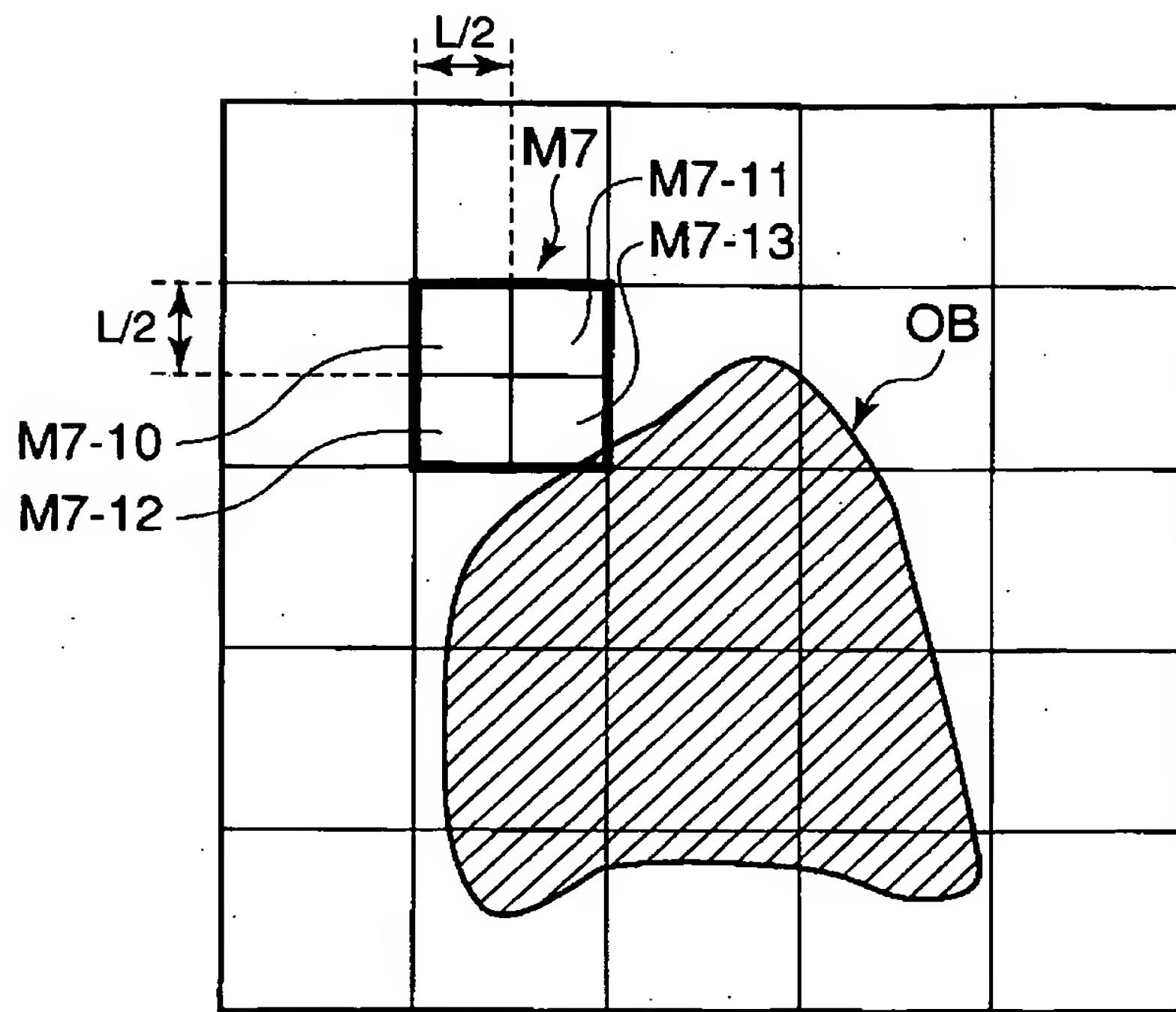
【図 2 6】



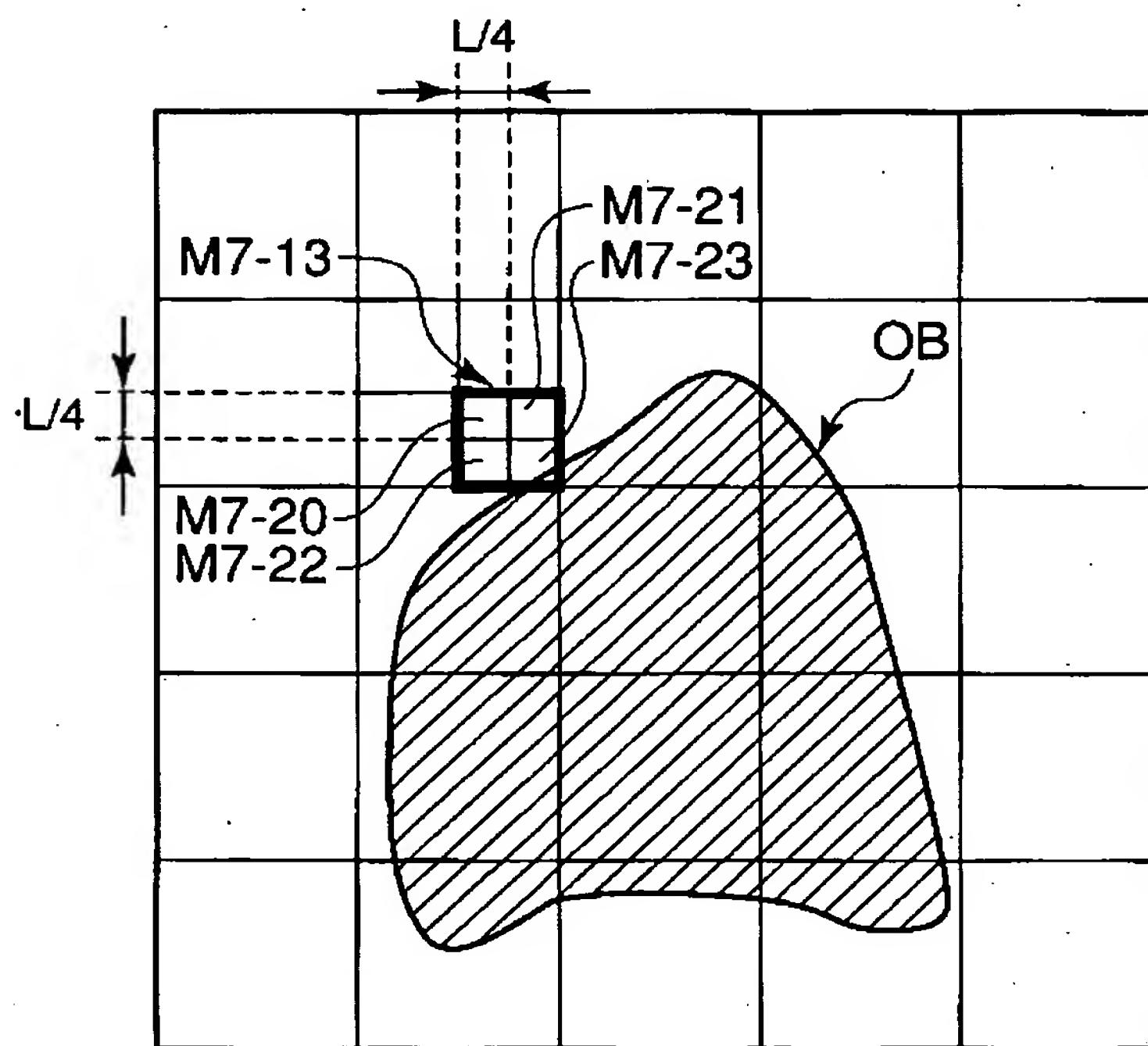
【図 2 7】



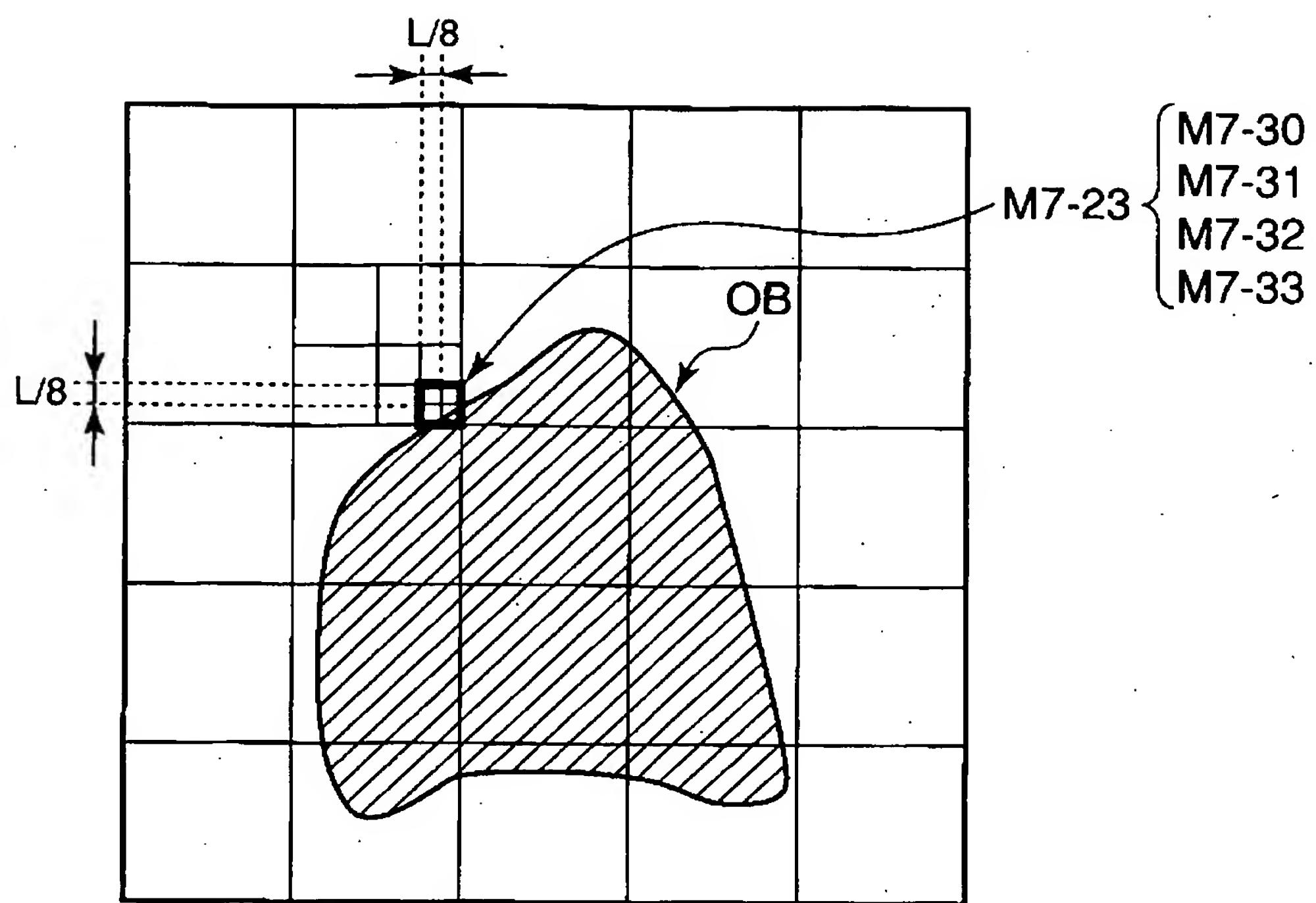
【図 28】



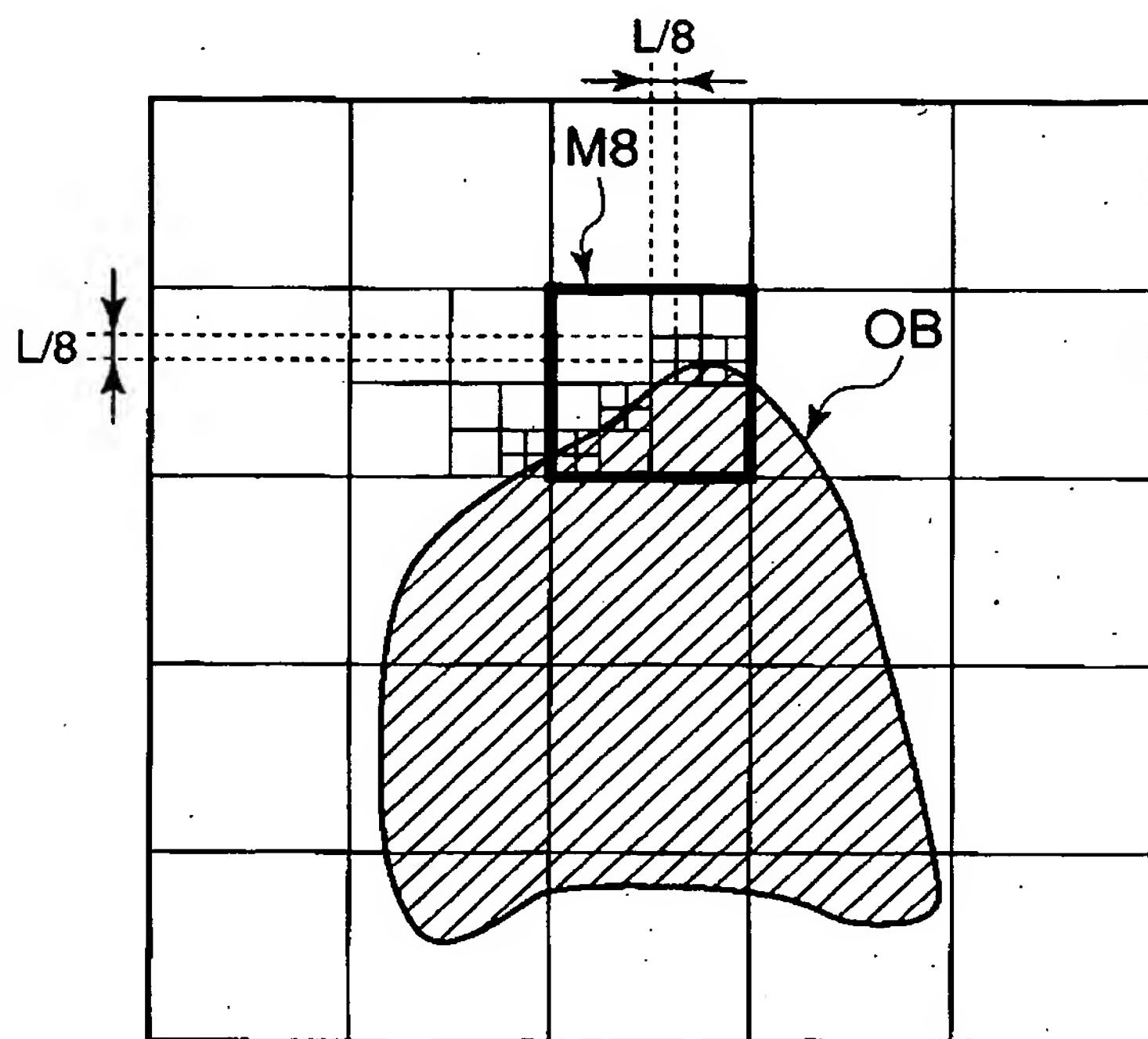
【図 29】



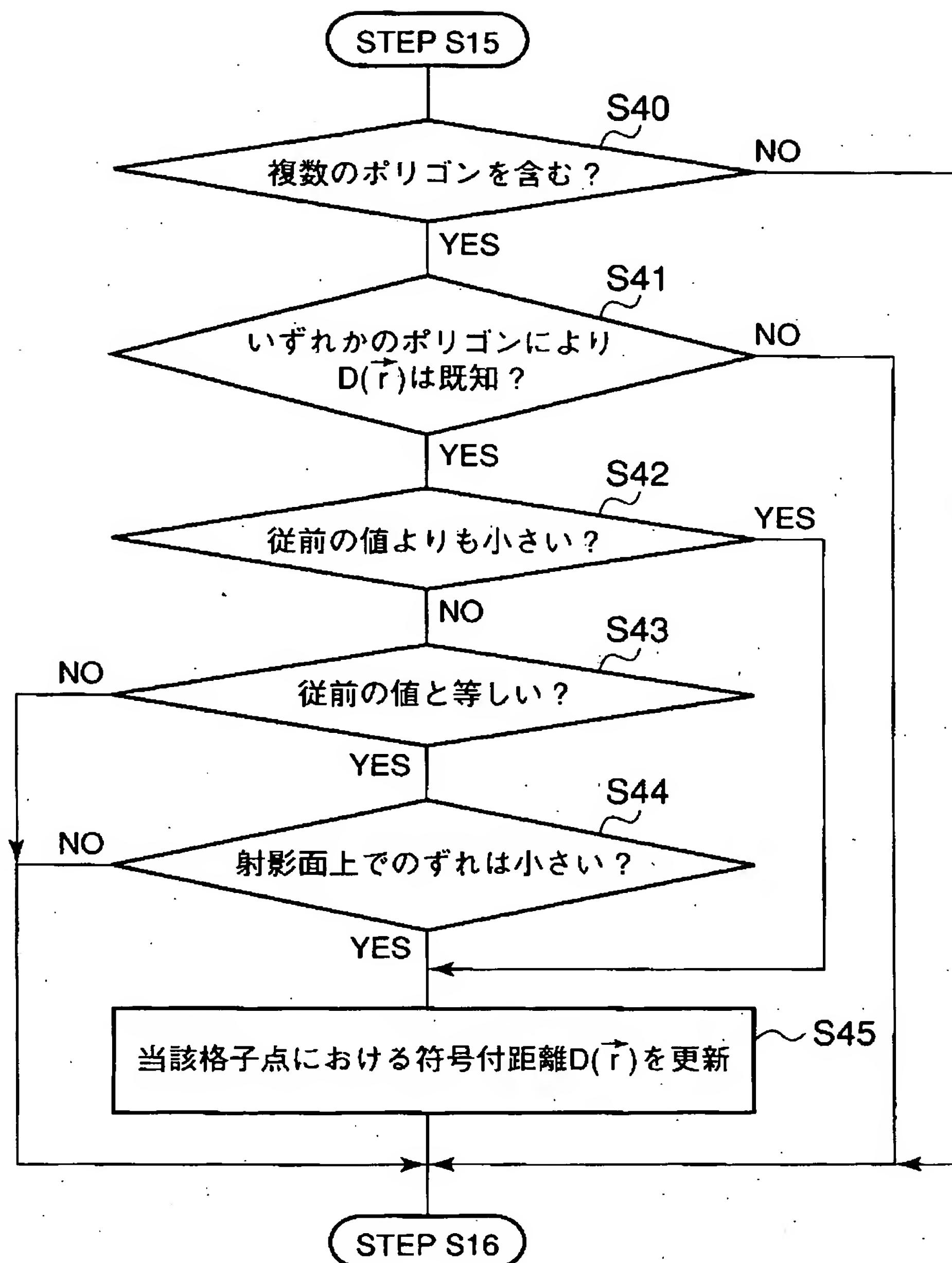
【図 3 0】



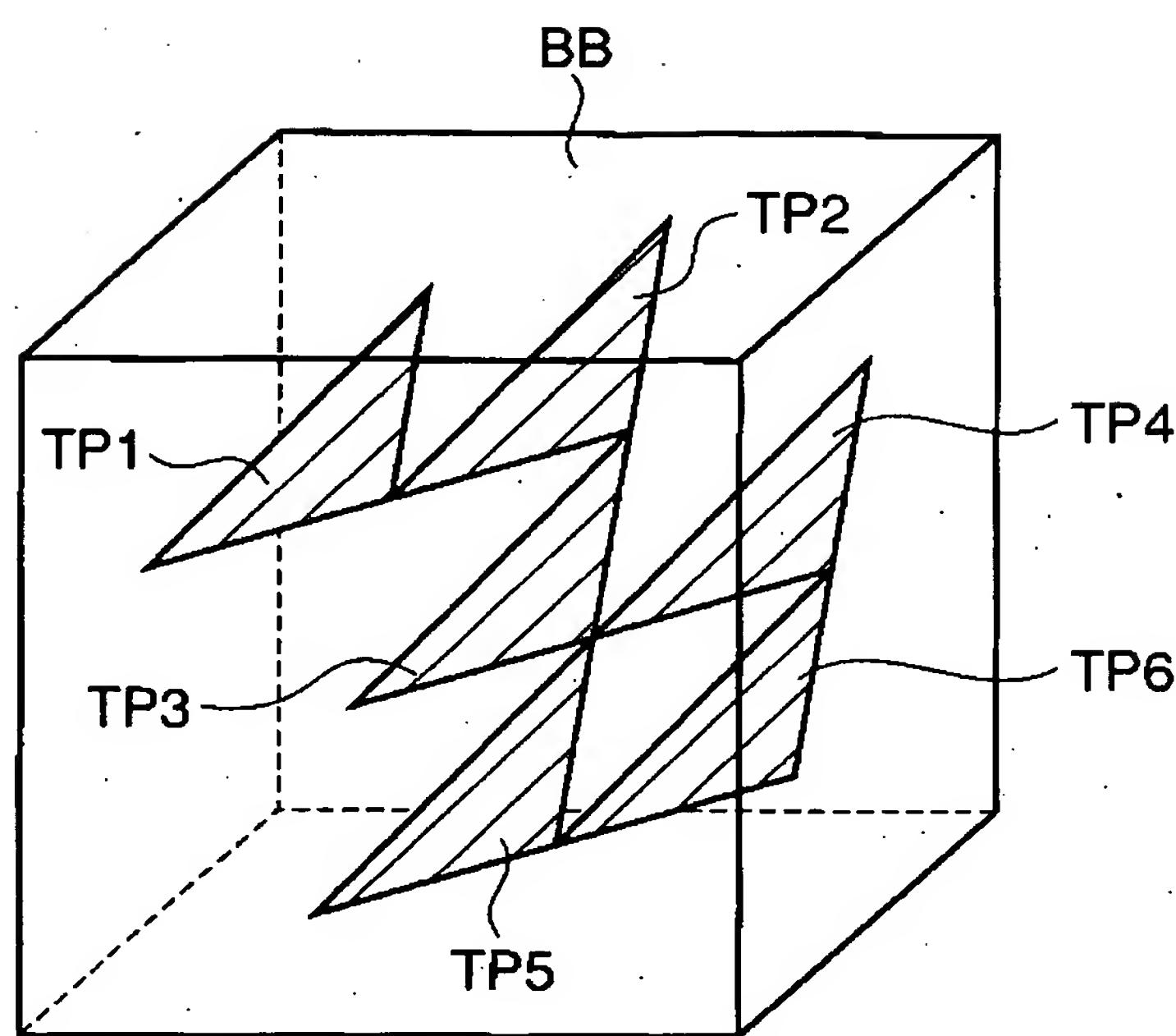
【図 3 1】



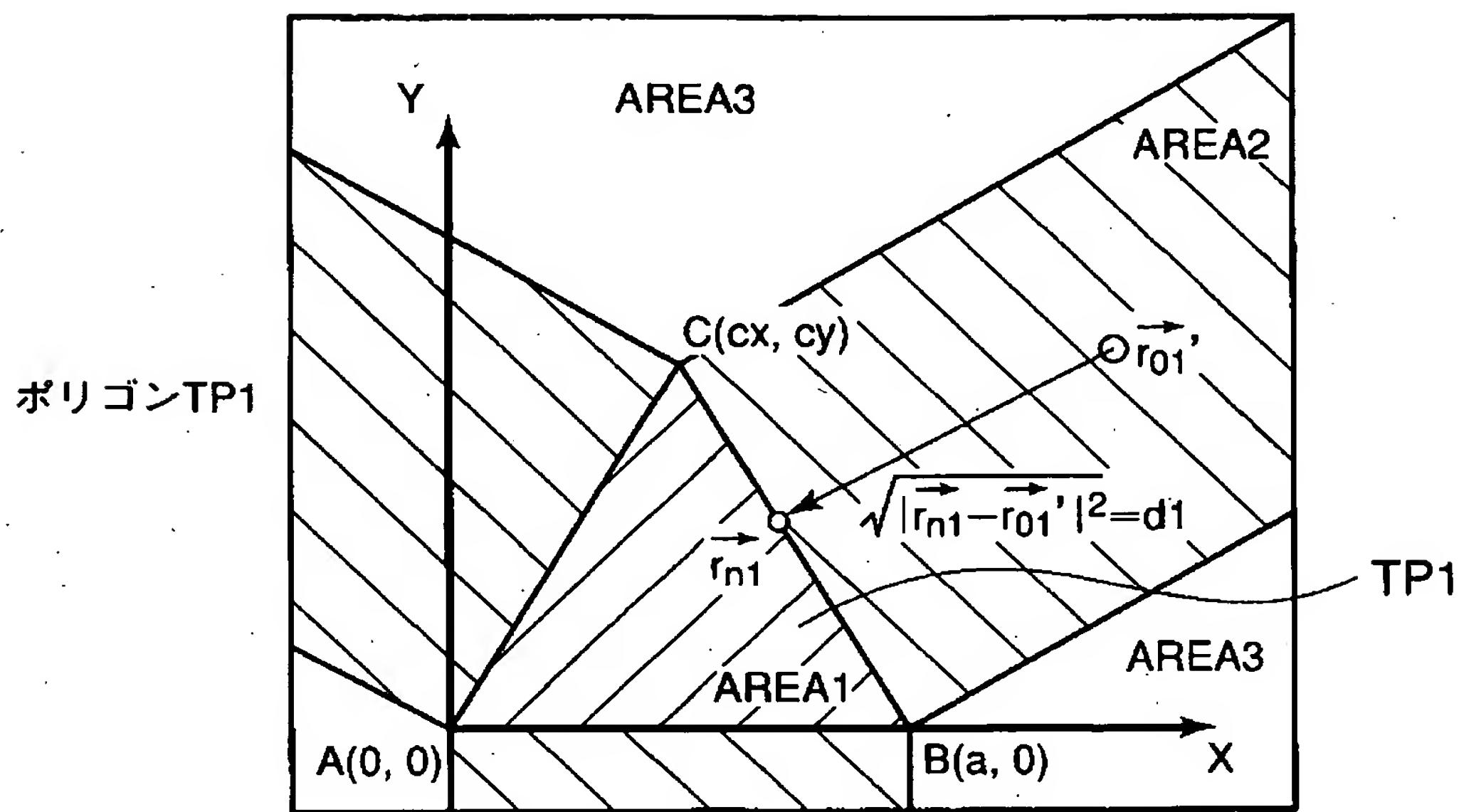
【図32】



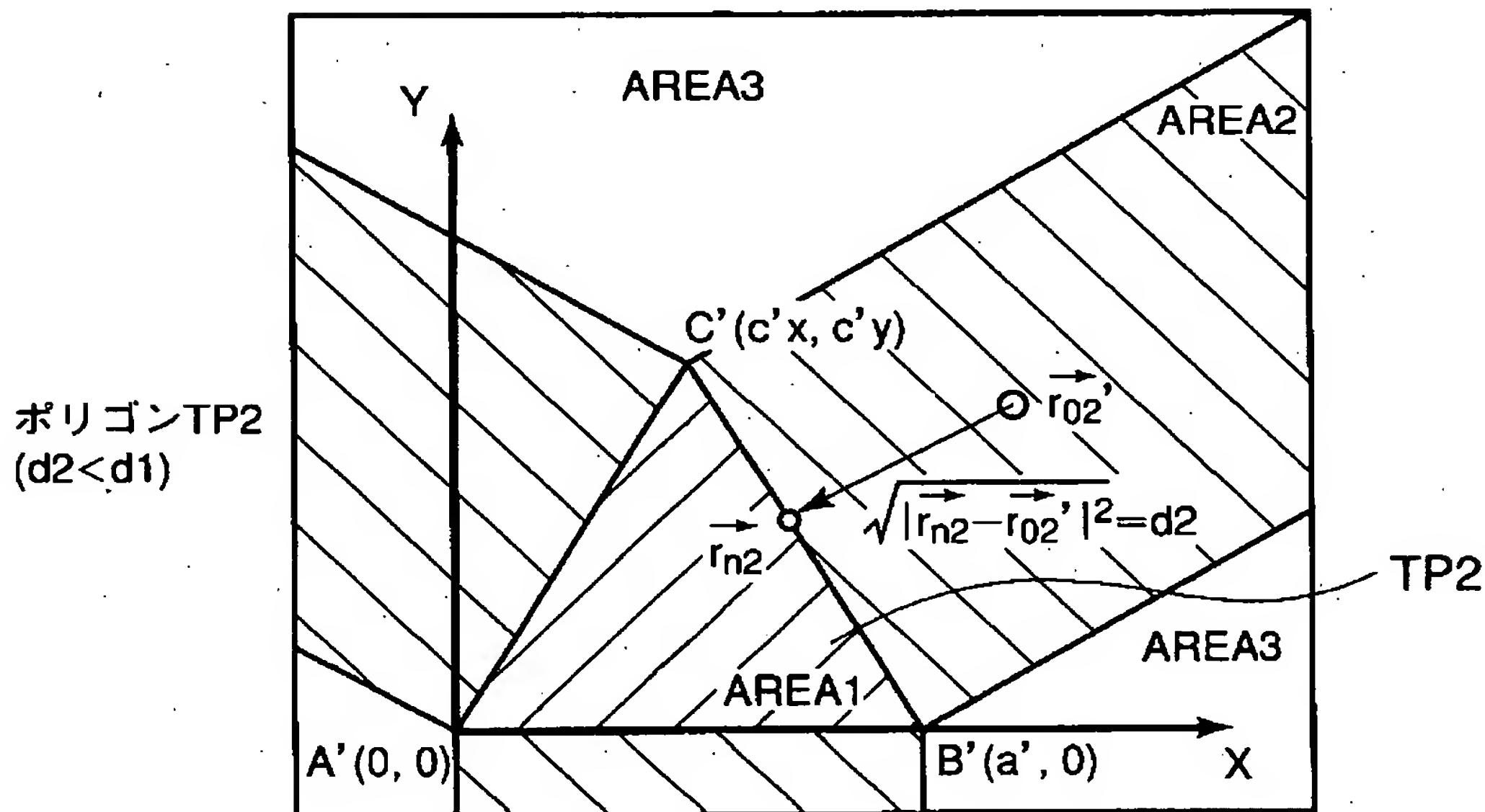
【図33】



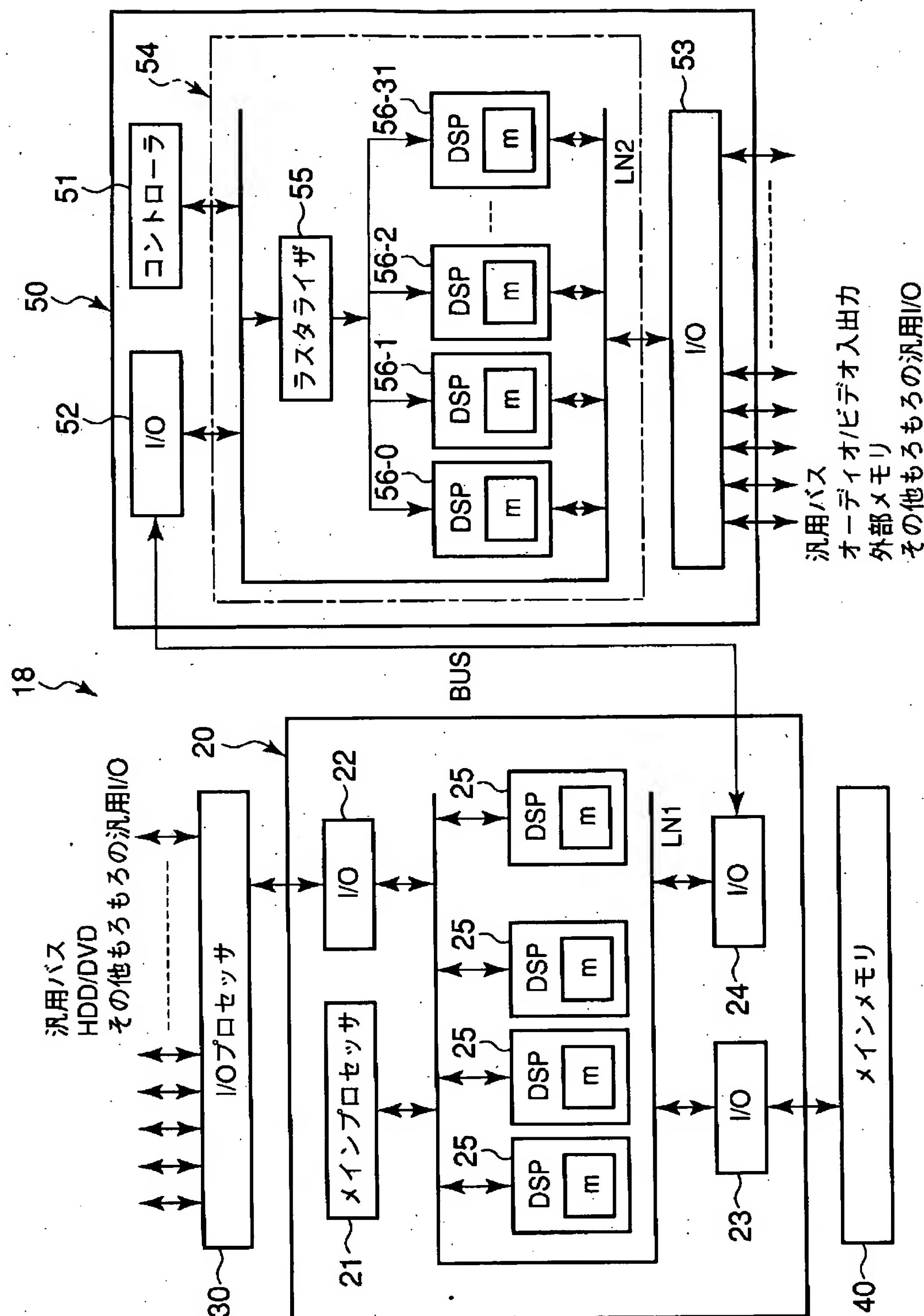
【図 3 4】



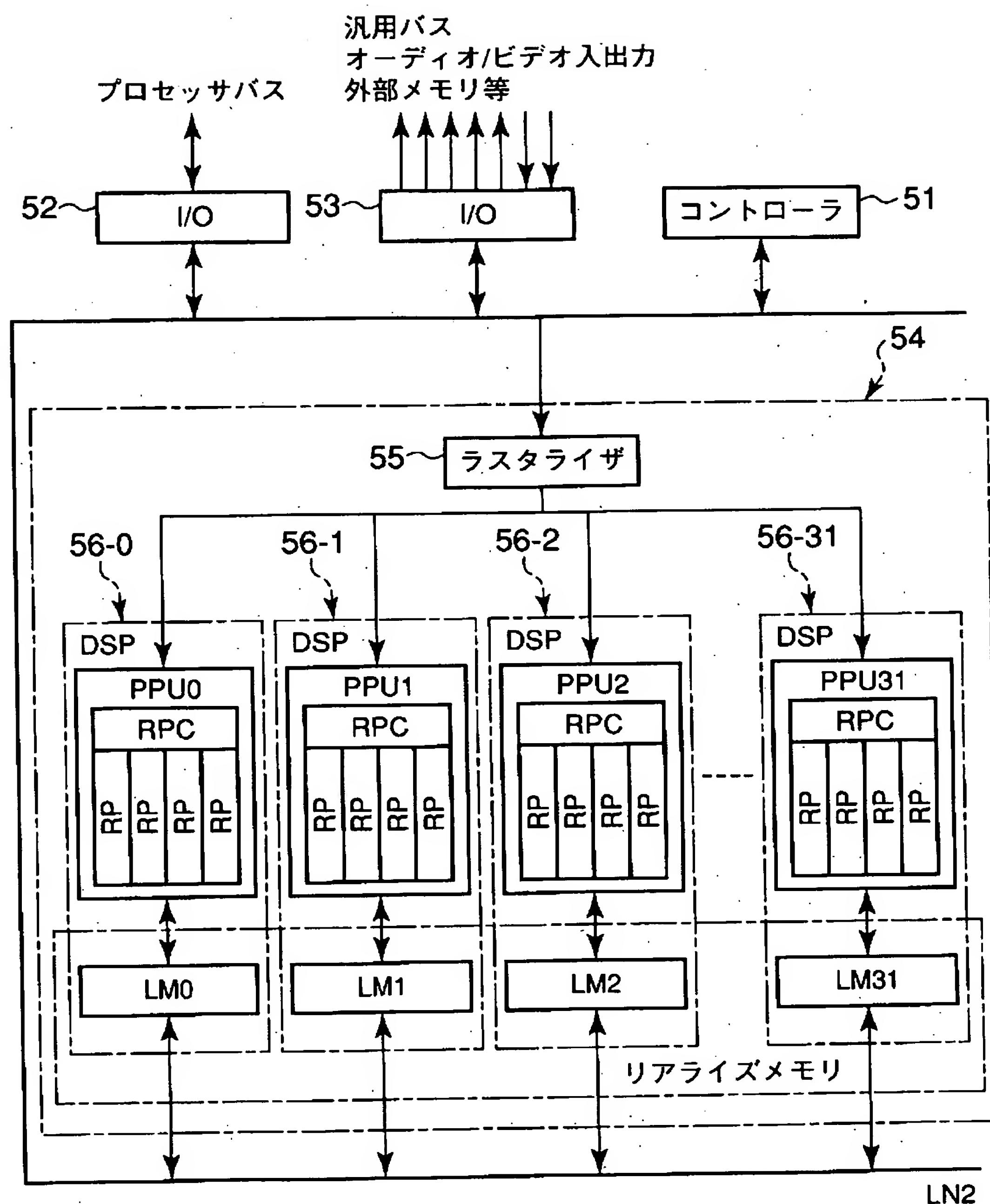
【図 3 5】



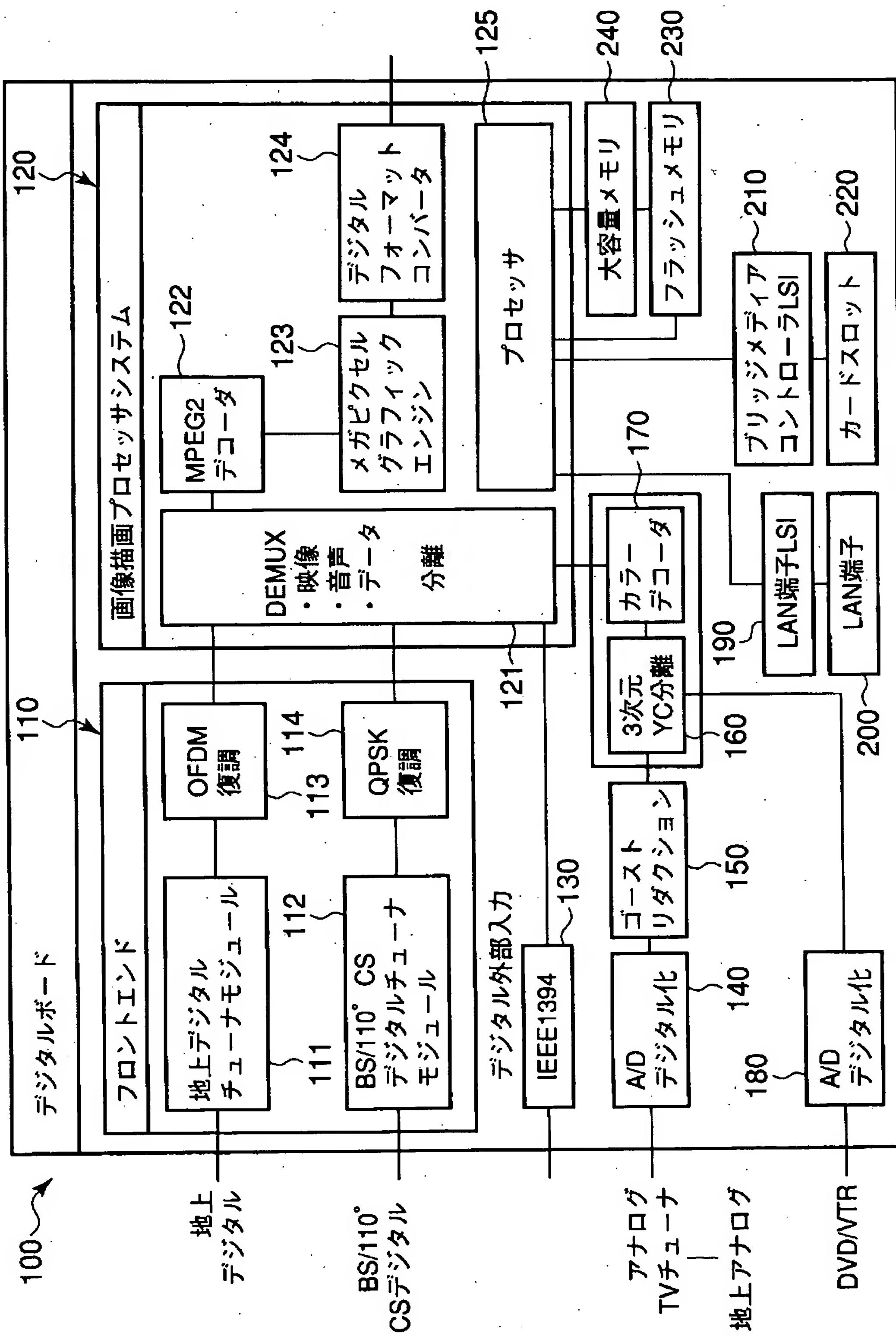
【図36】



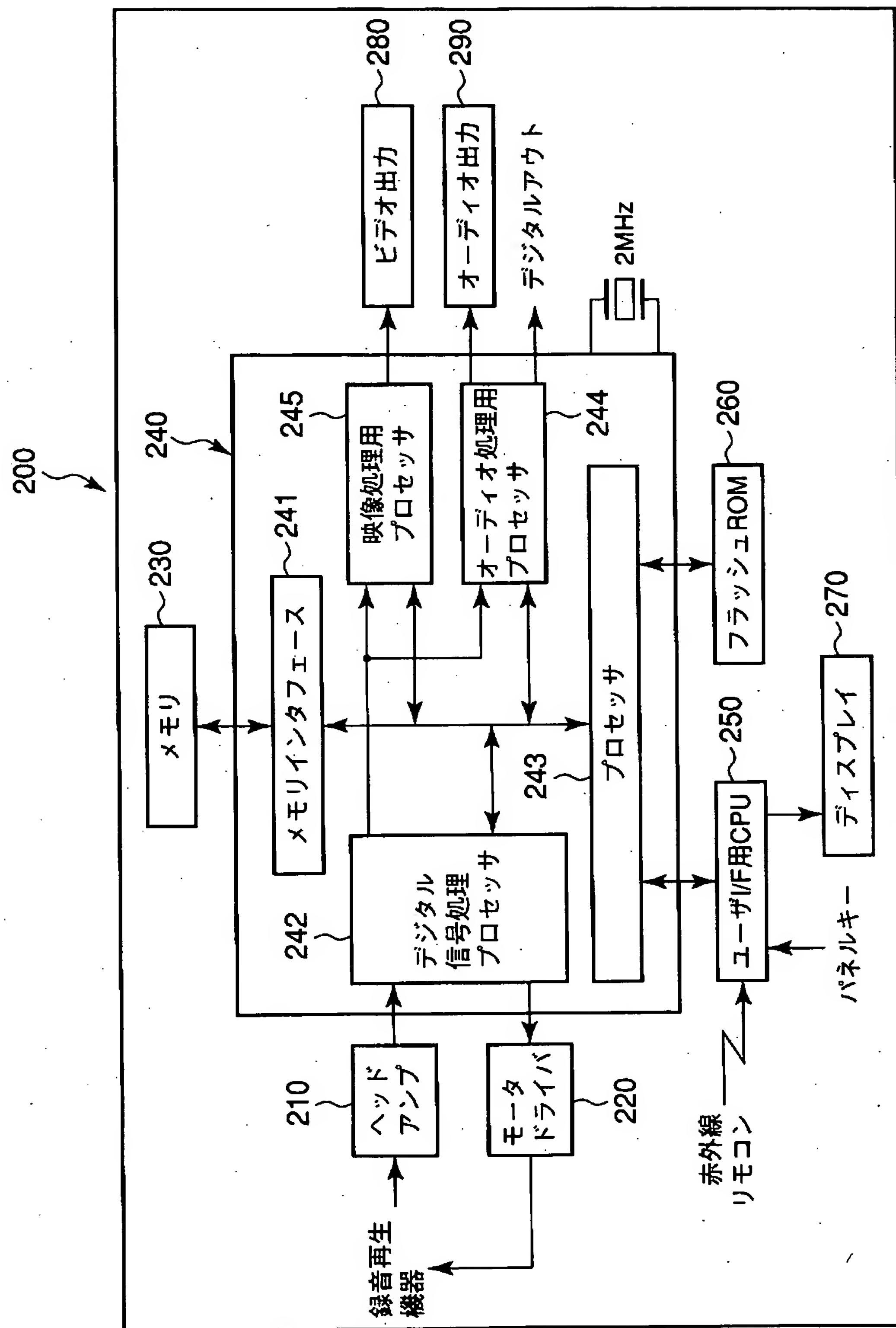
【図37】



【図38】



〔図 3 9 〕



【書類名】要約書

【要約】

【課題】ポリゴンを用いて表現された様々な形状の物体に対して陰関数表現を適用出来る画像処理方法、画像処理プログラム、及び画像処理コンピュータを提供すること。

【解決手段】コンピュータを用いた画像処理方法であって、三角形ポリゴンの頂点座標を抽出するステップと、前記頂点座標に基づいて、前記三角形ポリゴンを取り囲む領域を設定するステップと、前記領域内に含まれる格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離を計測するステップと、前記格子点から前記三角形ポリゴンまでの距離に基づいて図形を描画するステップとを行うことを特徴とする。

【選択図】 図3

出願人履歴

000003078

20010702

住所変更

599137013

東京都港区芝浦一丁目1番1号

株式会社東芝